主编／〔美〕戴尔·古德

康普顿百科全书

自然科学卷

中国商务印书馆

美国康普顿知识出版社

Compton's Encyclopedia

VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

康普顿百科全书

自然科学卷

〔美〕戴尔·古德　主编
周志成　等编译

中国商务印书馆
美国康普顿知识出版社
2003年·北京

图书在版编目(CIP)数据

康普顿百科全书.自然科学卷/(美)古德主编;周志成等编译.—北京:商务印书馆,2003

ISBN 7-100-03256-3

I.康... II.①古... ②周... III.①百科全书-美国-现代 ②自然科学-百科全书 IV.Z271.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第013277号

所有权利保留。

未经许可,不得以任何方式使用。

康普顿百科全书

自然科学卷

〔美〕戴尔·古德 主编

周志成 等编译

商务印书馆出版

(北京王府井大街36号 邮政编码 100710)

商务印书馆发行

北京冠中印刷厂印刷

ISBN 7-100-03256-3/Z·35

2003年11月第1版 开本787×1092 1/16

2003年11月北京第1次印刷 印张33½ 插页2

定价:55.00元

康普顿百科全书

自然科学卷

王选题

《康普顿百科全书》中文版编译出版委员会

主　任　徐式谷

顾　问　金常政　徐慰曾

委　员　（以姓氏笔画为序）

汇　远　杨枕旦　李　平　吴延佳　吴衡康　张二国

张曼真　陈成谱　周志成　赵景纯　徐奕春　常绍民

康普顿百科全书

自 然 科 学 卷

中 译 本

分卷编译委员会

主　编　周志成

编　委　王碧泉　刘宗礼　陈祖荫

　　　　陈慧英　吴延佳　魏国洪

译 校 者

丁辽生　卢鼎霍　李　竞　李赋宁　应幼梅　张天佑　陈子欣

周　茵　周志成　金常政　施莘善　徐述华　唐子健　黄士鹏

龚定金　盛红昱　盛志浩　傅祚华　戴中器

前　　言

《康普顿百科全书》是美国最畅销、最著名的几套百科全书之一。1922 年初版问世后，经不断增订，该书深受广大读者的青睐，被誉为一部文字浅显易懂、生动有趣的家用阅读百科和教学参考全书。1994 年版全书 26 卷，分正篇和事实索引两部分，内附精美插图 10000 余幅，约合中译文 1700 万字。正篇部分 25 卷，收词条 5700 条，均由各科专家精选、撰写，再由作家和编辑共同加工而成。其中重要词条，数千或上万字不等，实际上就是一篇全面扼要地介绍某项事物或某种知识的文章或小册子。事实索引部分为全书最后一卷，收资料性词条 28500 条，以极简练语言介绍各项资料性内容，我馆拟待全书正篇部分出齐后另行编译，读者若将其与正篇部分词条内容相互参照，可进一步获取相关信息。

《康普顿百科全书》以青少年和中等文化程度的社会各界人士为主要读者对象。其行文力求将知识性、科学性和趣味性融为一体，极易将读者引入知识的殿堂。我馆与康普顿知识出版社签约，在购得该书 1994 年版中文翻译版权后，旋即将其列为馆内重点出版项目，并成功地将其申报为国家重点图书，进而纳入九五出版规划。为确保全书的编译质量，便利读者进行系统阅读或检索，培养读者对某些学科或专业的兴趣，迅速增长科学知识，提高自身综合素质，我们先后邀请中国社会科学院、中国科学院、北京大学、中国大百科全书出版社等科研、教学和出版单位数百位专家、学者和编辑参加编译工作，在编译过程中，删除全书有关中国内容的词条 83 条，适当压缩部分篇幅较长的有关美国、加拿大内容的词条，将原书正篇部分原来按英语字母次序排列的词条打乱，重新按各大学科组合分类编排，分为自然科学、生命科学、社会与社会科学、技术与经济、文化体育等 5 卷。各卷独立成册，以便读者根据各自需要，单卷或成套购买。

需要说明的是，我们在编译《康普顿百科全书》时，对原文只译不改，因此，原书中某些词条所反映的观点，仅代表原著者的看法。由于编译工作工程量浩大，科目繁多，编辑与审订人员的学识、能力有限，部分词条的分类可能不够准确，译文质量亦难免参差不一。我们虽始终注意各种译名、术语的统一等问题，但终究难免会有一些缺憾。我们热忱期待读者的批评和建议，以便今后予以修正。

商务印书馆编辑部

2003 年 9 月 · 北京

Director Dale Good

COMPTON'S ENCYCLOPEDIA

COPYRIGHT © 1994 by *COMPTON'S LEARNING COMPANY*
本书由美国康普顿知识出版社授权出版

© 1994 Compton's Learning Company. Published under license from Encyclopaedia Britannica, Inc.

Translated and printed by The Commercial Press, Beijing.

No part of this work may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage and retrieval system, without permission in writing by the publisher.

词 条 分 类 目 录

科学

科学 …… 1
科学领域 …… 12
信息论 …… 14
控制论 …… 16
伪科学 …… 17
度量 …… 17
米制* …… 22
度量衡 …… 22

数学

数学 …… 27
算术 …… 32
减法* …… 36
乘法* …… 36
分数(普通分数和十进分数) …… 36
对数* …… 38
代数 …… 38
几何学 …… 52
三角学 …… 59
微积分学 …… 62
概率 …… 65
命数系统和数 …… 66
罗马数码 …… 71
图和图表 …… 72
算盘 …… 79
计算器 …… 80
欧几里得 …… 81
阿基米德 …… 82
阿波罗尼奥斯 …… 82
笛卡儿 …… 82
费马 …… 83
帕斯卡 …… 83
惠更斯 …… 83
夏特莱 …… 83
欧拉 …… 84
班纳克 …… 84
拉格朗日 …… 84
拉普拉斯 …… 84
傅里叶 …… 84
高斯 …… 85
巴贝奇 …… 85
施泰纳 …… 85
阿贝尔 …… 85
布尔 …… 86
黎曼 …… 86
康托尔 …… 86
弗雷格 …… 86
科瓦列夫斯卡娅 …… 86
庞加莱 …… 87
蒂拉克 …… 87
怀特海 …… 87
希尔伯特 …… 87
拉马奴金 …… 88
维纳 …… 88
柯尔莫哥洛夫 …… 88
哥德尔 …… 88

物理学

物理学 …… 88
原子核物理学 …… 93
等离子体和等离子体物理学 …… 95
固体物理学 …… 95
物质 …… 96
原子粒子 …… 101
夸克 …… 106
反物质* …… 107
分子 …… 107
真空 …… 107
万有引力 …… 108
能量 …… 110
太阳能 …… 116
核能 …… 116
固体 …… 127
半导体 …… 129
晶体 …… 129
液晶 …… 133
液体* …… 133
虹吸管 …… 133
液态空气* …… 134
胶体 …… 134
冰 …… 134
空气 …… 134
渗透作用 …… 137
摩擦* …… 138
热力学* …… 138
热 …… 138
火 …… 141
低温学 …… 143
光学 …… 144
光 …… 145
颜色 …… 152
光谱和分光镜 …… 157
透镜 …… 160
全息术 …… 161
荧光* …… 162
声学 …… 162
声音 …… 164
回声 …… 168
电 …… 168
磁体和磁学 …… 178
辐射 …… 182
放射性 …… 189
红外辐射* …… 195
紫外辐射 …… 195
X射线 …… 196
激光器和微波激射器 …… 199
微波激射器* …… 201
相对论 …… 201
第四维* …… 203
力学 …… 203
量子力学 …… 209
摆 …… 209
风洞 …… 210
牛顿 …… 211
华伦海特 …… 212
普里斯特利 …… 212
安培 …… 212
法拉第 …… 212
亨利 …… 212
哈密顿 …… 213
亥姆霍兹 …… 213
开尔文勋爵 …… 213
斯旺 …… 214
麦克斯韦 …… 214
范德瓦耳斯 …… 214
马赫 …… 214
伦琴 …… 214
迈克耳孙 …… 215
汤姆森 …… 215
赫兹 …… 216

普朗克 …… 216
居里一家 …… 216
卢瑟福 …… 217
金斯 …… 217
迈特纳 …… 217
爱因斯坦 …… 218
玻尔 …… 218
薛定谔 …… 219
拉曼 …… 219
康普顿 …… 219
泡利 …… 220
费米 …… 220
海森伯 …… 220
狄拉克 …… 220
奥本海默 …… 221
梅耶夫人 …… 221
朝永振一郎 …… 221
汤川秀树 …… 221
朗道 …… 222
巴丁 …… 222
特勒 …… 222
阿耳瓦雷茨 …… 223
吴健雄 …… 223
富兰克林 …… 223
萨哈罗夫 …… 223
杨振宁 …… 223
穆斯堡尔 …… 224
盖耳-曼 …… 224
环境* …… 224
同位素* …… 224
超声 …… 224
统一场论 …… 225

化学

化学 …… 225
分析化学* …… 230
化学分析 …… 230
物理化学 …… 232
电化学 …… 235
无机化学 …… 237
溶液 …… 239
溶剂 …… 239
酸和碱 …… 240
离子* …… 240
化学元素 …… 240
元素* …… 242
周期表 …… 242
惰性气体 …… 244
氦 …… 244
氟 …… 244
氢 …… 244
碱金属 …… 245
钠 …… 245
钾 …… 246
碱土金属 …… 246
镁 …… 247
钙 …… 247
镭 …… 247
铝 …… 248
碳 …… 249
一氧化碳 …… 251
二氧化碳 …… 251
氟碳化合物 …… 252
硅 …… 252
锡 …… 252
铅 …… 253
氮 …… 253
硝酸 …… 255
磷 …… 255
砷 …… 256
氧 …… 256
硫 …… 256
二氧化硫 …… 257
硫酸 …… 257
硒 …… 258
卤素 …… 258
氯 …… 258
盐酸 …… 258
碘 …… 258
铜 …… 259
银 …… 261
锌 …… 261
镉 …… 262
汞 …… 262
铀 …… 262
钛 …… 264
钒 …… 265
铌 …… 265
钽 …… 265
铬 …… 265
钼 …… 266
钨 …… 266
锰 …… 266
铁 …… 266
钴 …… 267
镍 …… 267
铂 …… 267
有机化学 …… 268
苯* …… 272
醇 …… 272
甲醇 …… 274
甲醛 …… 274
氯仿 …… 274
多氯化联苯 …… 274
碳水化合物 …… 275
聚合物 …… 275
塑料 …… 276
氨基酸 …… 281
催化剂 …… 281
腐蚀 …… 281
炼金术 …… 282
拉瓦锡 …… 282
李比希 …… 282
本生 …… 282
巴斯德 …… 283
门捷列夫 …… 284
霍普金斯 …… 284
哈恩 …… 284
尤里 …… 285
鲍林 …… 285
霍奇金 …… 285
西博格 …… 286

天文学

天文学 …… 286
太阳系 …… 299
太阳 …… 304
行星 …… 307
月球 …… 313
食 …… 317
极光 …… 319
流星和陨石 …… 319
小行星 …… 320
土星* …… 320
彗星 …… 321
恒星 …… 322
超新星* …… 327
脉冲星 …… 327
类星体 …… 327
黑洞 …… 328
星系* …… 328
宇宙线* …… 328
宇宙学 …… 328
宇宙* …… 331
星座 …… 331
地外生命 …… 334
占星术 …… 335
天文台 …… 336
天文馆 …… 338
天文爱好者活动 …… 339
时间 …… 340
历法 …… 343
年* …… 344

季节 …… 344
月* …… 345
一月* …… 345
二月* …… 346
三月* …… 346
四月* …… 346
五月* …… 346
六月* …… 346
七月* …… 346
八月* …… 346
九月* …… 346
十月* …… 346
十一月* …… 346
十二月* …… 346
星期* …… 346
夏令时 …… 346
托勒密 …… 346
欧玛尔·海亚姆 …… 346
哥白尼 …… 346
伽利略 …… 347
开普勒 …… 347
卡西尼 …… 348
雷恩 …… 348
哈雷 …… 348
赫歇耳 …… 349
米切尔 …… 349
纽科姆 …… 349
坎农 …… 349
阿尔文 …… 349
范艾伦 …… 350
萨根 …… 350

地球科学

地球科学 …… 350
地球 …… 351
新开拓地 …… 375
赤道 …… 381
半球 …… 381
地质学 …… 382
板块构造学 …… 384
冰期 …… 384
冰川 …… 387
冰山 …… 388
地震 …… 389
火山 …… 391
岩石 …… 394
熔岩和岩浆 …… 397
玄武岩 …… 397
花岗岩 …… 398
石灰岩 …… 398
斑脱岩 …… 398
矿物 …… 398
沙 …… 401
云母 …… 402
大裂谷 …… 402
大陆 …… 402
高原 …… 405
山 …… 406
峡谷 …… 407
谷 …… 408
洞穴 …… 408
草原 …… 410
荒漠 …… 411
绿洲 …… 413
沼泽 …… 414
水 …… 415
泉 …… 423
间歇泉和喷气孔 …… 423
自流井* …… 424
河流 …… 424
三角洲 …… 425
瀑布 …… 426
瀑布线 …… 427
湖泊 …… 428
半岛 …… 429
岛屿 …… 429
海洋学 …… 429
海洋 …… 438
海滩和海岸 …… 441
海洋波和潮汐 …… 442
潮汐* …… 444
海底观察员* …… 444
海市蜃楼 …… 444
气象学 …… 446
大气 …… 446
气候 …… 448
天气 …… 453
温室效应 …… 459
云 …… 459
降雨 …… 460
雪 …… 462
霜 …… 463
雾 …… 463
虹 …… 463
闪电 …… 464
风 …… 465
飓风* …… 471
风暴 …… 471
气溶胶 …… 473
干旱 …… 474
测量 …… 474
地图和地球仪 …… 475
地球仪* …… 482
纬度和经度 …… 482
国际日界线 …… 486
方位 …… 488
城市 …… 493
环境污染 …… 501
酸雨 …… 504
噪声 …… 505
垃圾和废渣的处理 …… 505
有毒废物 …… 507
墨卡托 …… 508
赫顿 …… 508
洪堡 …… 508
莱伊尔 …… 509
莫里 …… 509
鲍威尔 …… 509
缪尔 …… 509
魏格纳 …… 510

附注：词条右上角*符号表示该词条仅列词条名，具体内容参见相关词条。

附：汉语拼音索引 …… 511
汉语笔画索引 …… 514
英汉词目对照表 …… 517

科学　SCIENCE　人们不停地对周围的世界进行探索、实验、创造和检验。研究物理现象、生命现象和社会现象的智力活动就是科学。致力于科学研究的人称为科学家。他们为了追求所探索的问题的答案，往往献出了整个一生。这种发展中的研究活动经常产生科学探究的新领域。

虽然科学研究的许多领域是互相关联的，还是建立了一个个专门的学科或者说门类。科学的三大门类是物理科学、生物科学（或者说生命科学）和社会科学。（见：**科学领域**）

有的科学家从事研究工作只是因为他们需要研究。他们从事研究，获得知识，也许只是为了知识本身。这些科学家所从事的是基础科学，或者说纯粹科学。他们的研究工作也许与日常生活有关，也许完全不相干。反过来，从事应用科学的科学家往往心里有一定的目的，可能是一种产品，可能是一个过程，或许与一种行业有关，或许与人类的其他的需求有关。应用科学家往往利用其他科学家最近获得的资料以及纯粹科学所积累的知识。

科学在社会中的重要性

科学在社会中起着重要的作用。即使不是科学家，也能意识到科学的进展。因为科学的缘故，人们过去、现在和未来的理解是始终处在不停的变化中的。例如关于宇宙飞船在月亮上着陆这样的设想，如果几十年前提出来，会被认为是不可能的事情，而在今天，这是科学进展的一个标志。因为科学的探索永无休止，有的事情，一度被认为只是科学幻想小说的材料而不予考虑，例如在火星上着陆，现在看来也是必然会实现的。

日常生活中差不多各个方面都能见到科学技术。例如，如果当初没有发现电，如今就不会有电热器、电灯、电视等各种电器。无线电、电视、钟表，以及计算机里的电子元件，比起以前来体积变小了，性能更加可靠了。电子学的进步导致了所谓计算机时代。有了计算机技术，信息的加工几秒钟内就能完成。

计算机在一个时期里曾经是非常昂贵的。在实验室和大企业以外的地方很少见到计算机。现在因为计算机的制造更为经济，在许多家庭、学校、商店、图书馆里都可以见到它们。计算机向旅行代理商提供航班表、价格，以及可乘坐的座位等等情况，促进了旅行计划。企业利用计算机查对货物清单，买卖货物，计算员工薪水，以及完成其他许多工作。计算机还用来作为学校的教学工具，用来监控家庭的供热系统，以及用来为人造卫星和宇宙探测器导航。计算机的微处理器今后将在外层空间生产，因为那样的环境里没有地球上的尘埃和重力。

在物理学方面，核能的发现对世界产生巨大的影响。它用于核武器，而在有些地区它为家庭提供了电能。在过去的几十年里，物理学家修订了关于原子的概念。他们一度把原子看作物质的基本组成单位。利用粒子加速器，已经确定原子本身是由许多种基本粒子组成的。这些基本粒子由于特殊的力量聚集在一起。（参见：**原子粒子；核能**）

物理学家还发明了激光。激光产生汇集的光束。它用于医学、工业、通讯、航行，以及军事（见：**激光和微波激射器**）。20 世纪 80 年代后期，物理化学领域里的科学家在实验室里生产了一类新的超导物质。从理论上说来，只要保持超导温度，电流可以通过超导体永远流转。这种所谓高温超导在粒子加速器、计算机、输电线路，以及磁悬浮超速火车等等方面有许多潜在的应用。（见：**低温学**）

人与疾病的斗争也大大地得益于科学。现在正在使用更加安全的外科手术，包括那些用于器官移植、冠状动脉分流的外科手术。许多操作因为特种医疗器械的发展得到了改进。有些器械能使医生看到人体内部的情况而不留下一个切口。有些器械能够实现人体的基本功能，例如血液循环和呼吸。医学研究者在生产人造血液方面获得了进展。人造血液最终会消除在输血过程中传染疾病的威胁。艾滋病，或者说获得性免疫缺陷综合症，就是这些疾病当中的一种。这种致死的疾病侵犯人的免疫系统，使人的免疫系统不能防御传染。

许多其他的科学进展能使人显著地改变环境。科学家们现在知道，向空气里释放某些合成的化合物会造成例如臭氧层破坏这样的危险的空气变化。人们害怕臭氧层的损坏会增加从太阳进入空气的紫外线辐射量从而大量增加皮肤癌的发病率。人们也知道，燃烧矿物燃料会大量增加空气中的二氧化碳。后者具有捕获太阳的热的作用，造成所谓温室效应。空气平均温度因此不断提高，南极、北极的冰盖将会融解，海洋中的水将会增加，人们担心这将提高海平面，淹没沿海地区。为了获得更多关于这种潜在危险的信息，科学家对臭氧层和空气中的二氧化碳进行监视，并对从人造卫星获得的计算机绘制的图像进行研究。

人们对地球上石油的有限供应有了进一步的了解。这是科学进展的又一个标志。因为关心未来世界的能量需求，人们一直在研究可以替代的其他能源，其中包括太阳能、核能、风能、波浪能，以及地球内部的热能。（见：**能量**）

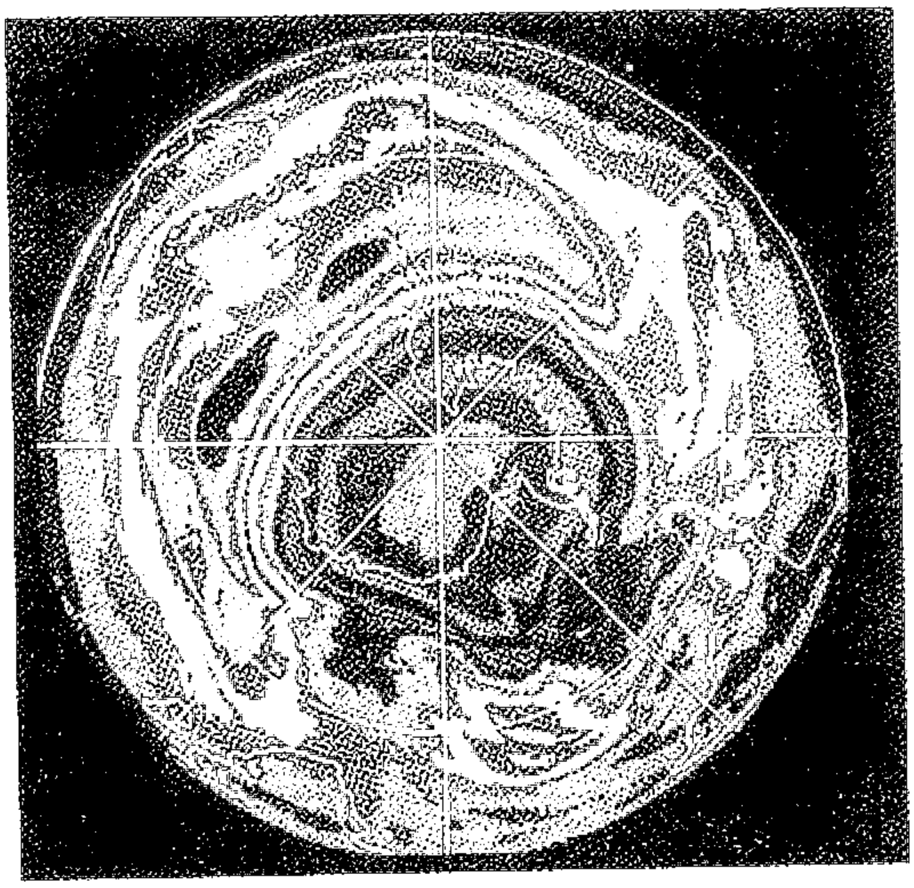
科学地解决问题

有科学头脑的人一般都相信因果关系。他们觉得大多数事物都有一个完美的自然的解释。例如为什么牛乳会变酸，为什么有的叶子到了秋天变红，而有的变黄。这都是有原因的。像这样容易观察到的变化称为现象。现在，有些普通的现象人们并不完全理解，还有一些现象则完全无法解释。相信有果必有因，这在科学方法上起着重要的作用。例如人患艾滋病的原因一度是不知道的。虽然如此，科学家们相信必然存在着原因。一旦他们发现它是由一种病毒引起的，他们就可以找寻治疗的途径。如果每个人都相信刚刚遇到的疾病并没有自然的原因，那么在研究如何加以控制方面必将一事无成。

科学家耗费大量的时间进行观察，收集信息，或者说数据。他们用科学的方法工作。科学家也许最初是被某一个具体问题引起了兴趣。他们通过不同的途径意识到这些问题。有的时候他们是通过偶然的观察发现问题的。他们意

识到这些问题也可能是阅读的结果，也可能是通过实验室的实验产生的，也许就是通过思索想出来的。问题一经牢牢地抓住，科学家就尽量研究它的一切。这种研究经常包括学习有关的书籍和期刊，其中包含有关这个问题的知识。这种学习称为文献调查。

科学家在收集和分析了数据以后，提出一个精炼的猜想。这种猜想称为假说。然后科学家设计实验，验证这种假说。实验可能包括设计一个理论模型，由计算机加以模拟和验证。不管实验采取什么样的形式，科学家必须从实验得出测量的或者其他的数据。数据的分析或者说明假设是正确的，或者说明假设需要修改。



一幅经过计算机增强处理的卫星地图，用于观测南极上空大气中的臭氧水平。它显示南极地区上空每年春季开始出现的臭氧空洞。

经过修改和重新试验的假说，可能被同样对这个问题感兴趣的其他科学家所接受。他们会重复实验，验证这个假说的正确性。一种思想、一个模型，或者一种解释，经过严格地试验分析而被科学界接受了的，称为理论（或学说）。理论将继续成为公认的解释。除非获得了新的信息，科学界因此否定了这项理论。科学家的持续的仔细的检查有助于避免错误的发生。

科学的哲学

人类总是对环境感到好奇。如何解释人类的起源和命运，是最基本的探索之一。研究人与宇宙的关系，或许就是自然哲学的开端。社会各界都曾尝试对人类起源以及人在自然界中的作用作出解释。哲学家、神学家，以及科学家都曾谈论过这些问题。

宗教曾经对科学界的发现和见解有过巨大的影响。例如意大利的自然哲学家伽利略用他发现的天文学真理说服罗马天主教时就曾遇到巨大的困难。他的日心说与教会承认的地心说是矛盾的。他因为所从事的观察而受审判。由于他坚持主见，他在一生中的许多时间内受到严密的监视。另外一个历史性的争论集中于地球的年龄。许多宗教的教义说地球的年龄是6 000年；而科学家们认为地球比这老得多，有46亿年历史。这两个例子都说明科学与宗教是以不同的方式获得有关地球的知识的。

科学和哲学一样，强调逻辑的应用。事实上科学可以看做是缜密的逻辑系统。它企图通过观察现象来回答问题。科学的方法是科学家应用的逻辑系统，只不过有的科学在应用逻辑上有所不同罢了。科学家在试图解决问题的时候，他们可能会应用一个模型。这个模型是建立在事件的合乎逻辑的、似乎可能的结合上的。然后，对这个模型也像对假说那样，作出预言。如果预言被证明是错误的，就来修改模型；如果模型通过了考验，就成为描述这个理论的逻辑模型。这种性质的理论模型已被用来研究经济、原子构造、宇宙、进化，甚至生命的起源。

科学和哲学不一样，科学强调结果的可重复性。这说明一组给定的情况应该总是产生同样的结果。科学理论在被证实以前，科学界是不会承认的。证实一个理论的一种方法是让别的实验室的科学家重复这项实验或计算。用另外一组材料和方法，这些科学家可以重复这项实验，检验原先报告的正确性。这种漫长细致的过程将确认原来的结果不是偶发事件，也不是对事件的错误的解释或者操作过程中的差错。

一种情况经过若干科学家的调查研究，可以确定最正确的因果的叙述。科学中的许多问题可以叙述为“如何……?”，“为什么……?”，以及“什么原因决定……?”这些都是为了确定因果的。在有许多因素或者说变量同时影响一个系统的时候就会发生困难。变量在不同的情况下有不同的值。在一类实验室试验里，所有的变量中只有一个是不控制的。不控制的变量称为实验变量，其他的变量称为控制变量。这种试验方法称为控制实验法。

火——最早的发现之一

在有记载的历史以前的几千年里，人们不知道科学。虽然如此，在这“前科学”的时期里已经有了许多重大的发现和发明。其中一项发现是利用火，使火工作。

有些动物本能上害怕火，而人却不知怎么地发现火可以控制，可以在一个地方保存下来。没有人确切知道这种发现最初是什么时候出现的。虽然如此，考古学家已经查明人类在冰期就已经开始用火烹饪和取暖。如今这同一个热源用来为涡轮机产生蒸汽。

早期的狩猎方法和农业

早期的人类也利用火来帮助打猎和杀死动物作为食物。有一种称为火攻的方法使少数人不费多大力气就能杀死几只动物。首先，必须在夏季草枯的时候找到在悬崖峭壁附近吃草的动物。然后，当风朝着合适的方向吹的时候，少数猎人用火把点燃枯草。火焰驱使动物跌落悬崖。早期的猎人利用这样的火攻只用少量的人力就能吃到比整个星期用矛、棍棒打猎能够得到的更多的动物。

在很久的一段时期里，人们遍地猎取野兽以供食用。人们偶然注意到狗这一类动物有一种本能，甚至在猎人不

能见到猎物的时候就能察觉猎物。它们往往跟随猎人，逐渐被训练用来找寻猎物以便猎人捕杀，然后与猎人分享猎物。人们终于明白了别的野兽也是可以驯养，供人使用的。他们也发现用不着长途跋涉去收集可供食用的植物，植物可以长在需要它们的地方，不久人类就开始栽种各种作物。

其他早期的发现

鞣革和纺织的原始的方法或许就是这个时候发现的。人们也学会了制作泥盆，储存用品。也许这种泥盆偶然落入火中结果成为最初的陶器。这种泥盆不能用于烹饪。因为泥盆不论是否经过燃烧，都是热的不良导体。代替的方法是把圆的石头放在明火里烧。当它们烧热了烧红了的时候，用木制或泥制的长柄勺子舀出来倒进一盆水里。石头因此加热了水，烧熟了食物。直到20世纪初期，这种原始的烹饪方法还在某些地区应用。

轮子是又一项早期的发明。关于轮子的灵感也许来自利用圆木作为滚柱来移动重物。不管来源如何，轮子立刻得到广泛应用。把轮子放平了，可以用来帮助制造陶器。不过轮子最大的价值在于制造原始的车子用来运输重物。发明了水车作为提起水的工具。风车则成为动力的来源。

铜是最早被早期的人类使用的金属之一。和金、银一样，有的时候也能找到自然铜。它的延伸性极好，所以不用加热就可以锤打成各种形状。人也许是偶然发现怎样加热矿石和熔化金属的。从锡和铜的混合物产生了最早的青铜，得到了广泛的使用。

人在明白了矿石可以熔化之后，可能就用许多不同的物质进行了试验。这类工作往往只是造成浪费，但偶然也产生有用的结果。玻璃可能就是这样发现的。

熔化金属成了件平常的事情以后，或许不久就发明了金属货币。固定价值的货币使贸易和商业成为可能。铜用来制造价值最低的货币，银用来制造价值较高的货币，而金用来制造价值最高的货币。

文字的开端

文字开始于公元前几千年的美索不达米亚和埃及。用图画书写或许是记录人的见闻和感觉的最初的方法。它被称为象形文字，比任何种类字母的发展要早许多世纪。

在开始有文字的时候，一切上述的发现以及其他更多的发现已经完成。但是这些发现的实际应用都不是科学的。例如鞣革的人并不真的知道动物的皮肤是怎样转变成为皮革的。他的有关鞣革技艺的知识只是从他的父亲和祖父那里学来的。他知道怎么做，不知道为什么这样做。制造玻璃的人和熔解金属的人不知道他们操作过程中的化学知识。各种手艺的工人都是如此。他们是技巧高超的手艺人，但是他们不知道他们的技艺或行业中包含的科学原理。

文字使科学的开端成为可能。它使人能够记录下来这一代人学会的东西，把它传给下一代人。当时并没有地理学、动物学或者植物学这些科学，然而有了文字就使古人有可能描述各个地方、各种动物和植物，并列举它们的名称。他们就是这样做的。

科学在希腊的开端

现代科学中最早出现的科学都与数学有关。它们开端于美索不达米亚和埃及，后来传到希腊。

希腊哲学家阿基米德是个伟大的科学家，也是早期论述力学的重要的作者(见：**阿基米德**)。数学和力学在公元前600年开始的希腊的黄金时期里获得了实际的应用。几何学的知识广泛地被用于希腊的建筑。物理学的知识被用于建筑和战争。有了杠杆，才有可能在建筑中搬动巨大的石块。有了石弩，战士就能用它将分量很重的矛或者巨大的石头猛烈地投向敌人的防御工事。

古希腊人发展的另一门科学是天文学。他们能预报什么日子可以看到某个行星，它将在天空什么地方出现。这类科学现在称为“方位天文学”。(参见：**天文学**)

古希腊人开始对周围的世界提出了重要的问题。这是理论科学的开端。他们需要知道东西是什么制成的，它们是怎么得出来的。他们希望不仅制造东西，而且明白东西怎样和为什么会成为这个样子。提出这些问题和得到最初的答案(其中许多答案后来被证明是错误的)奠定了西方科学的基础。希腊人把他们的理论传给罗马人以及西欧其他民族。欧洲的科学在许多世纪里是建筑在希腊早期的理论上的。

罗马帝国

罗马人扩充了实用科学的范围。他们筑路的业绩在现代以前是无与伦比的。他们制作了最初的道路图，标明了沿路各站之间经过仔细步测的距离。他们建造了巨大的水渠，远距离地输水。

黑暗时代和中世纪

从罗马帝国结束到大约公元800年这一段时间常被称作黑暗时代。在这段时期里，欧洲在科学上没有什么进步。不过这个时候已经为后继的中世纪后期和文艺复兴时期的重要进展奠定了基础。

马镫或许是在黑暗时代里发明的。水车最初也是在那个时期里出现的。在小河里和河流入海的地方水流推动水车，成为动力的来源。从水车又引出了风车，它大约是在1100年被采用的。罗盘也是差不多这个时候发明的。

造纸和火器

造纸术在13世纪传遍了欧洲。纸是中国人发明的。它先被波斯人，后被阿拉伯人采用。阿拉伯人把造纸工艺传到欧洲。

火药(不是枪弹的火药，因为当时还没有枪)和火箭是在13世纪引进欧洲的。它是早些年前中国发明的。

最早提起步枪的是1313年一本荷兰史书，说步枪是在德国发明的。最原始的平射炮图见于1326年的一本英国著作。

谷登堡的贡献

15世纪谷登堡改进了实用的印刷方法。11世纪中国人已经发明了活字印刷，但初期很少应用。谷登堡的印刷方法使科学的发展进入新的纪元。

在谷登堡以前，一个学生手抄一本书或许要花费整年的时间。在谷登堡之后，书就快速印刷出版了。而且可以大量供应给各个大学，扩充图书馆，满足教师和学生日益增长的需要。

主要是因为有了印成的书籍，16世纪的科学家们就可以系统地工作。书籍使人容易获得老的和新的知识。因为书籍可以很容易地在人们之间流传，任何人只要他真想学习，他就可以学习。

虽然在16世纪里写作和印刷了大量书籍，大部分科学还是处在它们发展的最早时期。这个最早的时期只是收集某个领域里知道的一切，然后回顾这些材料，加以评论，而并不解释事物为什么是那样的。

例如A.维萨里在解剖学方面做了开创性的工作。他命名了人身体里的每块骨头、每条肌肉，以及大多数血管，但是他不知道人的身体是怎样工作的。动物学家K.格斯纳列举了人们所知道的一切动物，但是他不知道各种动物彼此间的关系。G.阿格里科拉(G.鲍尔)写出了金属的开采和矿石的冶炼，但是他一点不知道化学。枪炮专家L.弗龙斯佩格写了一本关于枪炮和射击的书，但是他对弹道学也一无所知。

天文学的突破

1543年出版了一本天文学上历史性的著作。这就是哥白尼的《天体运行论》(见：**哥白尼**)。几世纪以来天文学是建立在托勒密学说之上的。这个学说认为地球是宇宙的中心而且是不动的。问题在于解释其他的行星和天体是如何运动的。

人们起初设想其他行星只是沿着围绕地球的圆形轨道运动。但是根据这种观点的计算与实际的观察不相符合。然后人们设想地球以外的其他行星以小的圆形轨道运行，而这些轨道又是沿着围绕地球的更大的轨道运转的。不过根据这种学说，不能证明地球是宇宙的中心。

哥白尼在他的历史性著作里说道，地球应该被看做围绕太阳运行的行星当中的一个。他还说地球是围着一个轴转动的。不过哥白尼仍然坚持那种思想，说行星是以小的圆形轨道行动的，而圆形轨道的中心又沿着较大的轨道运动。哥白尼的理论虽然是革命的，他却没有对行星的运动提出合适的解释。这种解释是半个多世纪以后才出现的。

开普勒的行星运动定律

J.开普勒花了几年的工夫试图作出火星用小的圆沿着围绕太阳的大的圆运动的轨道(见：**开普勒**)。不论他怎么尝试都没有成功。经过6年研究，他发现火星的运动是可以理解的。但首先必须假定行星是沿着椭圆形的轨道运动的。运动的速度根据行星与太阳之间距离的不同而变动。

现在符合一切观察了。开普勒因此可以写下作为现代天文学基础的两条定律：(1)每个行星围着太阳运动的路径形成一个椭圆形。太阳的位置落在椭圆的两个焦点中的一个焦点上。(2)行星在轨道上运动的速度是变动的。如果在行星和太阳之间画一条线，在相同的时间里它扫描的面积是一样的。这第二条定律意味着行星靠近太阳的时候它的运动比较快；行星离太阳较远的时候它的运动比较慢。后来开普勒又提出了行星运动的第三条定律，说的是行星、太阳之间的距离与行星沿着轨道运行一周所需时间的关系。

伽利略用望远镜进行的工作

开普勒作出他的行星运动定律的时候，意大利人伽利略证实了哥白尼关于地球围着它的轴自转的说法(见：**伽利略**)。伽利略是用望远镜完成这项工作的。

伽利略听说荷兰磨制眼镜的利珀希发明了一根管子，能使远处的东西看起来变近。虽然伽利略对这种原始的望远镜的情况知道得很少，他还是自己制造了一个。他用它发现了行星木星有卫星。他也见到金星像月亮那样经历从盈到亏的位相变化。这说明金星是在地球的轨道以内围着太阳运转的。他也看见了银河是由遥远的无数恒星组成的。伽利略的观察使他得出结论：哥白尼的天文学理论至少部分是正确的。(参见：**天文学**)

牛顿的发现

开普勒已经能够说明行星如何运动。17世纪后期牛顿说明行星为什么那样运行(见：**牛顿**)。开普勒疑惑不解，使行星运动的动力来自何方。在发现了行星的运动在靠近太阳的时候更加迅速的现象以后，他推测驱使行星运动的动力可能来自太阳。

牛顿说明通常有两种力起着作用。它们是物体的惯性和物体之间的引力。牛顿伟大的著作《原理》出版于1687年。现代科学家发现在这一著作里牛顿推进了人造地球卫星的理论。他还推进了火箭在真空里如何运动的理论。

电

在哥白尼、开普勒、伽利略、牛顿建立天文学作为一门科学的时候，其他科学还正在积累材料。德国马格德堡的O.冯·盖利克发明了产生电的原始的方法。他用一块普通的磨石，后来又用一个硫磺球代替石头。他一手转动球，一手摩擦球。这种摩擦产生静电。蜡和琥珀也用来这样摩擦生电。牛顿还用玻璃球代替硫磺球改进这种产生电的方法。

1729年，英国的S.格雷发现了电能够通过金属棒传导。当时因为某些关于电的错误认识，人们对电的知识停止发展了。

像硫磺、玻璃、蜡、琥珀这些可以产生电的物质被人称为“带电体”。它们可以用来产生电，但是它们不导电。格雷发现金属导体是导电的，但是它们不能产生电。

现在认为一种物质不是“带电体”就是“导体”。当然，正确的区别是“绝缘体”和“导体”。一个导体如果使它绝缘，也能产生电。(参见：**电**)

数学

17世纪里有两项极其重要的数学的进展。1614年J.耐普尔发明了对数。在发明对数以前,已经可以进行多位数的乘法和除法。但是有了对数以后,节约的计算时间可以高达90%。

17世纪将近结束的时候,英国的牛顿和德国的莱布尼兹是发展微积分的两位主要人物。对数是节省时间的主要方法,微积分则可以解决某些类型的问题,没有微积分,这些问题的计算将是完全不可能的。(参见:**微积分**)

蒸汽机

18世纪有一项实用的发明,像活字的发明那么重要,那么影响深远。这就是蒸汽机。这是一项在工业上有实用价值,在物理学上也引人入胜的发明。

要理解蒸汽机的重要,必须先理解一个工程学的术语。这个术语是"稳定的动力",意思是随时随地都能提供的动力。一个大的风车,很有力量,但它只在有风吹着的时候才能提供动力。水车比较接近于供应稳定的动力,但它在设置水车的地点方面极少有选择余地。

蒸汽机提供稳定的动力。它可以建立在随便什么地方。惟一的问题或许只是使它运转的燃料的运输问题。

早期的蒸汽机

人们知道的最早的蒸汽机是公元1世纪亚历山大里亚的希罗制造的。这个机器称为汽转球。它的工作原理和草地上的洒水器相同,不过它用的不是水而是蒸汽。1629年G.布兰卡发明汽轮机。它是通过把一股气流喷在一类改进了的水车上来运转的。这两种机器力量都不大,它们做不了任何有用的工作。

第一个有实用价值的蒸汽机是1698年T.萨弗里发明的。因为它专门用来抽矿井里的水,所以那个时候称它为抽水机。这个机器里用来抽水的软管通向一个充满蒸汽的大容器。然后蒸汽阀关闭,一股冷水流过金属容器,容器里的蒸汽凝结,造成部分真空,水就吸到容器里来了,然后再将水排出。

1705年T.纽科门制成了大气发动机。它有一个活塞与一个大的横梁连接。蒸汽进入汽缸,举起活塞,冷水洒向汽缸,凝结蒸汽。大气压力迫使活塞下降。活塞因此拉下横梁的一头。与此同时,横梁的另一头就上升。横梁就是这样来驱动水泵的。

大约在1760年,有人让苏格兰的瓦特修理这种大气发动机。他认为在活塞每次运动后冷却汽缸是浪费燃料。他试图使蒸汽直接工作而不冷却汽缸。他努力工作,在1765年创造了改良的蒸汽机。

生物科学

18世纪生物科学的许多进展应该归功于瑞典的植物学家C.冯·林奈。林奈观察到有些植物彼此十分类似,而有些则不相类似。他建立了确定和描述植物相同之处的方法,渐渐地构筑了一个植物学分类系统。他把植物的相似的种归类成为目、科和亚科。

林奈也构筑了一个动物分类的同样的系统。从此以后,动物的目录不再只是一个装着动物名称索引卡片的抽屉,而是一个动物学系统。学者可以查看哪些动物是归类在一起的,它们之间的关系是否亲近。

化学

18世纪后期化学的研究有许多重要的进展。人们常说化学是从炼丹术产生的。炼丹家的目标很特别,他们要找寻某些哲人石或长生不老药。他们希望用这些东西改变廉价的金属,使之成为黄金并能治疗人的一切疾病。他们努力工作,但是他们的努力没有得出哪怕一项大的发现。(参见:**炼金术**)

化学主要是从冶炼工人、金属制造工人、制革工人、染色工人,以及玻璃制造工人这些人的需要中产生的。在他们的工作中发现了钴和镍这样的新的元素。然后在18世纪后期,普里斯特利和舍勒发现了另一种元素氧。(参见:**普里斯特利;化学**)

燃素论

在发现氧以前的许多年里,化学的发展由于错误的燃素论而退缩不前。J.贝歇尔和G.E.斯塔耳试图用燃素解释燃烧。根据这个理论,任何能够燃烧的物质含有一种称为燃素的"要素"。物质燃烧的时候,燃素就离开物质进入空气。

人们已经观察到物质在密闭的容器里不能长久地燃烧。贝歇尔和斯塔耳认为燃烧之所以停止是因为密闭容器里的空气吸收了如此多的燃素,已经达到饱和的程度,再也不能吸收了。现在知道,密闭容器里氧被耗尽的时候,物质将停止燃烧。

在发现了氧以后,又发现了可以燃烧的物质在氧里比在空气里燃烧得更好。人们因此错误地假设氧是完全不含燃素的气体,所以它可以吸收大量从燃烧物质释放的燃素。刚刚发现的氧因此被称为"脱燃素空气"。

拉瓦锡的贡献

金属在空气中加热,正常情况下会生成氧化物。18世纪的科学家把金属化合物称为金属灰。他们推论金属灰加上燃素相等于金属。但是问题在于金属的重量比金属灰小。这个时期的科学家又进一步推论,说是既然物质加上燃素反而变得轻了,那么燃素的重量必然是个负数。

照着这个思路想下去,事情就越来越混乱了。最后,法国伟大的化学家A.拉瓦锡在1783年证明了金属是元素。他也说明所谓的金属灰是金属和氧化合的结果(见:**拉瓦锡**)。化学最终摆脱了它自己制造的错误,以惊人的速度前进了。

电流

电流是刚好在18世纪结束之前发现的。1780年,一位意大利人L.伽伐尼注意到刚被杀死的青蛙的腿在接触金属的时候有时会突然抽动。他认为这是由于一种"生物电"

造成的。另外一位意大利人 A. 伏打相信这与化学有关。1800 年,伏打制造了一个原始的电池证明了他的理论。这个电池称为伏打电池。(参见:**电;物理学**)

到了 18 世纪末,现代科学的大部分都已奠定了基础。在化学方面已经知道什么物质是元素,什么物质是化合物。在物理学方面已经确定了静电和电流的区别。天文学已经有了坚实的理论基础。

19 世纪科学的成长

在 19 世纪里,科学有了长足的进展。这个进展来自已经知道的科学成果的应用加上基本性质的新的发现。蒸汽机终于变得强大有力,足以应用于船舶和火车头。从伏打电池和早已知道的细的金属棒可以导电这一事实出发,它们进一步发展,得到了电报。

1817 年,瑞典化学家 J. 贝采里乌斯发现原先他认为是碲的东西其实不是碲。他把这种新的物质称为硒。后来发现硒在明亮的情况下可以传导电流。但是在黑暗中它不导电。(参见:**硒**)

早期的一种电话是根据硒的性质发展来的。它还产生了一些最后导致"说着话的图画"的实验,用电线以及电视、光电管,或者说电眼传送图像。

19 世纪中叶,一位奥地利修士 G. 孟德尔在生物学上获得了一个重大的发现。他发现了植物的亲本和后代之间的遗传型式,提出了某些植物性状是可以遗传的。这是遗传学研究的开端。

16 世纪里,K. 冯·格斯纳收集了当时所能获得的关于动物的全部知识。后来 C. 林奈把这些知识构成一个系统,说明生物之间的关系。他根据对植物和动物(其中许多是从美洲寄给他的)的观察和描述,将生物分门别类。关系最密切的一类称为种。同一种生物可以繁殖生成能够存活的健康的后代。生物现在是根据构造和形状按照界、门、纲、目、科、属、种分类的。

当时的科学家们开始怀疑,为什么同一种生物虽然相似,却仍然存在微小的差异。博物学家,例如 C. 达尔文和 J. B. 拉马克试图解释动物的栖息地与它们的生物学适应之间看来完美无缺的关系。达尔文发展了生物进化的理论,用来解释为什么存在这种关系。他出版了几部书叙述他的旅行、观察和观点。《物种起源》是他最著名的书中的一种。

1868 年,俄国化学家 D. 门捷列夫发表了《化学原理》,其中包括元素周期表。这些表里的化学元素是以质量增加的次序排列的。门捷列夫的周期表十分准确,以至于他能指出尚未发现的元素将在周期表中出现的位置。(参见:**化学;门捷列夫;周期表**)

19 世纪 70 年代,苏格兰的物理学家 J. C. 麦克斯韦发表了一个关于电磁辐射的理论。电磁波谱是一群按波长排序的电磁能量,它们都以光速传播。它包括无线电波、微波、可见光、紫外线、X 射线,以及 γ 射线。麦克斯韦提出这些电磁能都是以波的形式,以光的速度在空间传播的。1887 年,H. 赫兹第一个产生和接收了这种波。无线电、雷达和电视正是建立在麦克斯韦的理论基础上的。(参见:**赫兹;麦克斯韦;辐射**)

1896 年,法国科学家 A. H. 贝克勒耳的发现,从它的社会影响说来,或许是最重要的发现之一。他把一种铀的化合物放在桌子的抽屉里,抽屉里还有一包没有用过的照相底片。后来从不透光的包装里取走这些底片的时候,贝克勒耳发现底片上形成了灰雾。铀的化合物是底片附近惟一不寻常的东西。显然,铀的存在使底片"曝光"了。这个简单的观察产生了科学上又一次革命。底片形成灰雾说明它们接受了辐射。

在这种现在称为放射性的能以后,玛丽·居里和皮埃尔·居里夫妇接着又发现了放射性元素钋和镭(参见:**居里一家;放射性**)。贝克勒耳和居里成为测量放射性的两种单位的名字。放射性现在是能量的最强大有力的形式之一。

20 世纪物理学的进展

物理学家原先认为宇宙中能量的量是不变的。它不生不灭,只是转变。同样地,物质的量也是不变的。一片铁可以磨成很细的粉末。它可以与氧结合成为氧化铁。但这被认为是形式和形状的改变,不是量的改变。

爱因斯坦提出,能的量也罢,物质的量也罢,可能不是不变的,但把它们连在一起来说就是不变的了。换句话说,如果有人真能成功地破坏物质(这可是个艰难的过程),得到的将是能。如果有人能够浓缩能,得到的将是物质。这些思想导致产生核能的研究。这种研究称为核物理学。(参见:**原子粒子;爱因斯坦;核能;原子核物理学;相对论**)

1934 年,物理学家 E. 费米用中子轰击铀的时候偶然地分裂了一个原子的核。1939 年,德国物理化学家 O. 哈恩、L. 迈特纳,以及 F. 斯特拉斯曼重复了费米的一些工作,宣布已经发生了原子核裂变。三年以后,费米和他的同事发现核的链式反应是可以自保持的。这些发现导致产生了最初的核武器和核反应堆。在第二次世界大战以后的年代里发现了原子核反应堆的许多用途。这些用途包括从核动力船舶和核潜艇一直到提供公众用电的核电厂。核裂变式的原子弹具有极大的威力,而有些科学家又开始发展一种甚至更为强大的武器——核聚变式的核武器(氢弹)。第一枚氢弹是在 1952 年试验的。

有一种说法,说光是一种类型的波;另外一种说法,说光是粒子组成的。德国物理学家 M. 普朗克的工作部分地解决了这个争论。1900 年,普朗克提出一切辐射是以称为量子的小的单位发射的。这就是量子论。许多别的科学家也在研究物质的结构。E. 卢瑟福根据核粒子在通过金箔时发生的偏折现象的研究提出一个理论,说原子绝大部分物质浓缩在带正电荷的核里,电子在核的周围旋转。N. 玻尔后来发展了一个更为完整的关于原子构造的理论,并且证实了量子论。1905 年爱因斯坦关于光电效应的解释也有助于证实量子论。德国人海森伯对亚原子粒子的理解做出了贡献。1927 年他说同时测量一个亚原子粒子的位置和动量是不可能的。这就是测不准原理。(参见:**玻尔;海森伯;物理学;量子力学;卢瑟福**)

遗传学方面的发现

生物学家在探索细胞的代谢和繁殖的时候继续推进了孟德尔提出的遗传学原理的发展。1953年，J.沃森和F.克里克发现DNA(脱氧核糖核酸)分子的形状是一个双螺旋体。DNA含有关于在细胞里合成蛋白质的主要的密码。在20世纪80年代后期，科学家们发现了第二套密码。它们在蛋白质合成的后期的步骤里起着重要的作用。

科学家们然后发现了将一个物种的一个基因插入另外一个物种的DNA的方法。这个基因就随着后者的DNA复制。这一发现是克隆(无性繁殖系)的一种类型。它能利用细菌产生人的一些激素，例如胰岛素、生长激素。DNA的研究使科学家做出了染色体图，分析出了某些遗传异常的原因。遗传工程已被应用于医学、农业和其他领域。1990年起开始了基因疗法在人身上最初的试验。

转向外层空间

许多其他的科学进展发生于天文学、地球科学，以及医学。20世纪20年代有些科学家开始提出宇宙是由一次巨大爆炸形成的说法。这个所谓宇宙大爆炸的理论后来得到科学界多数人的支持。空间的探索开始于1957年的不载人的飞行器。载人飞行始于1961年。1969年7月20日美国的宇航员第一次登上月球。美国和苏联都发送了几个探测器飞往其他的行星。两个国家都有设立永久空间站的计划，但执行情况不详。1986年，人造卫星和高灵敏度的望远镜证明哈雷彗星在内太阳系里重新出现。科学家利用设在空间、不受大气干扰的望远镜可以看到比以前远得多的物体。另外一个历史性的观察是1987年发现了附近的一颗超新星，一颗正在爆炸的恒星。科学家分析了超新星1987A的辐射发射，提出了引发超新星事件的条件的假设。(参见：**恒星**)

魏格纳的大陆漂移理论

1912年德国地质学家和气象学家A.魏格纳提出一个说法，说各个大陆原先曾经是一块陆地。这个陆地他称之为泛大陆。他的大陆漂移理论因为是高度臆测性的，所以多年来受到排斥。最后终于积累了许多支持这种理论的证据。这些证据部分是通过有关反磁化的研究得到的。(20世纪60年代的研究指出地球磁场不停地每隔10万年到5 000万年变换一次磁极。)大陆漂移理论导致产生板块构造的概念。这种概念认为地球可以分为若干移动的板块，并解释了为什么有火山和地震。1935年美国地震学家C.里克特制定了测量地震强度的里氏地震级。这种分级也可用来记录地下的核爆炸。(参见：**地球**；**地震**；**地质学**；**魏格纳**)

20世纪的医学

许多20世纪医学的进展应该归功于特种装置的发明。在发现了X射线以后不久，医生们就开始用X射线机检查骨折。1912年，美国化学家J.J.艾贝尔制造了第一个有实用价值的用于实验室的人工肾。在此以后出现了其他许多帮助或代替身体功能的装置，其中包括鼓膜、髋、心脏瓣膜，以及人工心脏。第一台可靠的心肺机是1955年制造的。1967年，南非医生C.巴纳德完成了第一例成功的人的心脏移植手术。接受心脏移植的人活了18天。

早在1780年就完成了人工授精的实验。最初通常是用两栖类动物做实验的，后来用了狗。1901年俄罗斯生物学家I.I.伊凡诺夫开始做了马的人工授精。1936年在苏联有600万头以上的牛、羊做了人工授精。这一技术最终在人身上实现。一般是用于不易怀孕的夫妇。1978年，第一个"试管婴儿"在英国出生。这是卵细胞体外受精和胚胎移植于母亲子宫得出的结果。

信息技术

许多科学的进展如果不是使用计算机就不会完成。所以电子计算机的发明是20世纪最重要的成就之一。19世纪后期，苏格兰物理学家开尔文勋爵设计的模拟计算机是最早的模拟计算机当中的一种。不过这一类用机械的或者电的装置来代表处理的数字的计算机是直到1930年才制造出来的。模拟计算机被运转迅速得多的数字计算机所取代。科学家们很快就认识到需要更好的方法将信息存储在存储器里。他们创造了硅片，或者说微处理器。他们提高了计算机的速度，发明了存储程序。他们发展了数字化装置用来转换模拟量，以用于数字计算机。数字化装置也被用来将图像和记录的音乐转换成为数字格式。

计算机的迅速发展引起人工智能的研究。1958年开发了模仿人脑的智能机器。它的名称叫做"感知器"。人工智能在机器人技术、通讯以及其他领域里有许多潜在的应用。

科学交流

科学家们在研究工作中经常合作。这种合作可能包括来自不同国家的科学家。科学家分享研究成果的另一种方式是参加地方的、国家的或者国际的科学会议。科学会议是定期会议，科学家们在会上正式地或非正式地介绍自己的研究工作，提出意见。科学会议能使科学家立刻得到他们工作的反馈。许多历史性的科学突破就是在这样的会议上介绍给科学界的。因此许多科学家参加这样的会议，跟踪科学的发展，分享别的研究工作者的方法、成果和思想。除参加会议外，许多科学家还经常互相通信。有些这样的信件成了历史性文件。

研究工作者也会写出正式的论文，叙述他们的实验方法、假说、结果和结论。这些论文可能投送研究院或者学会发表。这些机构帮助获得支持和在科学家之间交流。即使论文没有被选中发表，它也可以用来作为工作的文件，便于其他的科学家重复和评价这项实验。

差不多每一项现在的科学进展都是以某种科学文献的形式发表的。有些刊物属于整个学科，例如生物学，而有的则集中于一个领域，例如鲸目动物(鲸、海豚)。期刊也可能是学科间的，或者集中于一个专题，例如环境保护。

基金和奖金

科学研究的费用可以是非常高的，特别是在需要使用昂贵的设备的时候更是如此。政府、企业、基金会或者大学可能资助科学研究的费用。在美国，联邦政府资助国防和空间探索的许多项目。1950 年，美国议会通过法案建立国家科学基金会。建立这样一个独立的联邦机构，目的在于发展国家科学政策以及支持基础科学研究和教育。其他的基金会是致力于疾病研究的，例如国家心脏学会和美国癌症学会。

也有一些科学研究是由私人支持的。产业部门往往聘请科学家，尤其是在应用科学领域里工作的科学家工作。这些科学家致力于发展产业或商业的过程和产品。学院和大学以提供教授职位的方式支持科学研究。身为教授的科学家通常部分时间用于个人的研究、部分时间用于教学。他们的学生因此有机会直接观察科学过程。各个大学各有专长而通常是以它们的教授和科学家的造诣作为评价的基础的。因此，科学家们发表著作，给他们所在的学院或者大学带来声望。

科学家常常因为他们对科学作出的贡献而得奖。诺贝尔奖可能是最著名的奖。它每年一次颁发给物理学、化学、生理学或医学、文学等各个领域以及和平方面的杰出人物。这是瑞典化学家、炸药发明人 A. 诺贝尔建立的奖。1968 年又增加了经济奖。诺贝尔奖的得奖人获得金钱、金牌以及证书。这是给各个领域当中最重要最突出的成就的一项荣誉。按照诺贝尔的遗愿，瑞典皇家科学院认为各个国家的人都有得奖的资格。

科学中的突破

工作年份	科学家	成就	典型的现代应用
早期的发现			
公元前 624? -公元前 548?	迈利特的泰勒斯	圆的几何学	自行车
公元前 532? -公元前 500	克罗托内的毕达哥拉斯	直角三角形各边之间的关系 音振动	桥梁桁架设计 弦乐器
公元前 430? -公元前 377?	科斯岛的希波克拉底	“医学之父”	仔细的病例记录
公元前 388? -公元前 355	奈得斯的欧多克斯	行星运动理论	卫星轨道
公元前 347 -公元前 322	亚里士多德	植物、动物的分类	生物鉴定
公元前 300?	欧几里得	几何学的体系化	测量
? -公元前 194	埃拉托色尼	地球的大小、气象	航海
? -公元前 212	阿基米德	圆的面积；杠杆、螺旋、浮力的原理	机械设计
公元前 220?	佩尔加的阿波罗尼奥斯	圆锥曲线(几何)	绘图
公元前 161? -公元前 122?	罗得岛的伊巴谷	宇宙形式；纬度、经度；三角测量	天体导航法
公元前 46	凯撒、索西吉斯	历法改良	东正教历法
……	许多罗马人	建筑、工程	圆屋顶、沟渠、道路
公元 41? - 68?	狄奥斯科里迪斯	药草	颠茄
125? - 150?	托勒密	天文学、地理学著作的汇编	世界地图
158 - 200?	C. 盖伦	动脉携带血液；肌肉、神经的作用	脊髓的分区
350? - 400?	丢番图	代数学的开端	复利(息)
776?	查比尔·伊本·赫扬(吉伯)	编写炼金术书籍	硝酸
813? - 833?	花拉子米	印度数字、希腊几何学、代数学资料的汇编	加法机器
? - 1037	伊本·西拿(阿维森纳)	汇集希腊医学知识	结核病的传染性
……	无名氏	发明火药	烟火、火器

……	中国人、阿拉伯人	罗盘	导航
1266? - 1292	R. 培根	透镜研究;倡导实验	眼镜
1446	谷登堡	活字印刷	书籍
1526 - 1541	帕拉塞尔苏斯	炼丹术应用于医学	含有汞、砷的药物
1536 - 1576	J. 卡尔达诺	发展了算术和代数学	会计学
1536 - 1590	A. 巴累	奠定现代外科学基础	创伤处理
1543	A. 维萨里	解剖	人体解剖学
1543	N. 哥白尼	太阳是太阳系的中心的学说	天文学、导航
1556	G. 阿格里科拉	采矿、冶金学	化验矿石中的金属
1582	教皇格雷戈里十三	历法改良	现代历法

现代理论和实验的发展

1583 - 1642	G. 伽利略	摆、天文望远镜;惯性、落体加速度、静力学原理	重力的测量 天文学 设计结构
1590	Z. 詹森	复式显微镜	检查细胞构造
1600	W. 吉尔伯特	地球的磁性	导航
1605 - 1626	F. 培根	倡导实验和归纳法	计划研究
1608	H. 利珀希	发明望远镜	天文学、导航
1609	J. 开普勒	日心说和行星轨道	人造卫星
1614	J. 耐普尔	对数	计算尺
1628	W. 哈维	血液循环	人体生理学
1637	R. 笛卡儿	解析几何学	计算火箭的飞行
1654	B. 帕斯卡 P. 费马	概率论	保险 原子构造
1654	O. 盖利克	发明空气泵	真空吸尘器
1660	R. 玻意耳	气体定律	混凝土破碎锤
1666 - 1693	I. 牛顿	微积分	科学、工程中的
1675 - 1684	G. 莱布尼兹	微积分	高级计算
1666? - 1700?	A. 列文虎克	植物、动物组织构造	组织学
1666 - 1704	I. 牛顿	有色光、光的微粒说	彩色印刷、透镜、镜
1672	O. 盖利克	静电	电子管
1675	O. 罗默	光速	外层空间的大小
1678	C. 惠更斯	光的波动说	干涉仪
1687	I. 牛顿	重力定律 运动定律	空间航行 喷气发动机
1690	J. 洛克	经验是人的思想的基础	教育
1698	T. 萨弗里	蒸汽机	发电厂
1705	T. 纽科门	蒸汽机	
1765	J. 瓦特	蒸汽机	

1735 - 1753	C. 林奈	植物、动物分类	植物、动物学名
1736	C. F. 费伊	电的两流体说	科学演示
1745 - 1752	W. 沃森 B. 富兰克林	电的单流质说	电动机
1774	J. 普里斯特利 K. W. 舍勒	发现氧 发现氧	炼钢

科学开始改造生活

1775 - 1789	A. 拉瓦锡	燃烧的氧化学说	食物消化生理学
1776	亚当·斯密	经济学的企业自由经营学说	股票和债券
1780	L. 伽伐尼	“动物电”	神经冲动的研究
1796	E. 琴纳	天花种痘	公共卫生
1798	朗福德伯爵(B. 汤普森)	热是物质内的运动的学说	摩擦制动器
1799 - 1800	A. 伏打	电池组	便携式收音机
1801	T. 扬	光的波动性质	光栅分光镜
1805	J. 道尔顿	现代原子学说	化学
1808 - 1818	J. J. 贝采利乌斯	符号、原子量	化学
1811	A. 阿伏伽德罗	分子学说	气体研究
1818 - 1820	H. C. 奥斯忒	电与磁的相互作用	科学演示
1828	F. 维勒	合成尿素	多种塑料
1830 - 1833	C. 莱尔	生物与地球地质变化的相互关系	石油沉积研究
1830 - 1842	A. 孔德	实证主义社会学	研究生活费用
1831	M. 法拉第	电磁感应	发电机、电动机
1833 - 1835	M. 法拉第	电解定律	铜的提纯
1842	C. W. 朗	乙醚麻醉	外科
1846	W. T. G. 莫顿	乙醚麻醉	
1843 - 1847	J. P. 焦耳	电的和机械的热当量	汽车发动机
1846	U. J. J. 勒威耶	发现行星海王星	天文学
	J. G. 加勒	发现行星海王星	
1854 - 1869	G. 孟德尔	遗传定律	杂交玉米
1857 - 1885	L. 巴斯德	疾病的微生物学说	血清疗法
1859	C. 达尔文	进化论	生物学
1859	R. 本生 G. 基尔霍夫	光谱学	太阳和 恒星的成分
1869	D. 门捷列夫	周期表	发现新元素
1873	J. C. 麦克斯韦	电磁学的数学理论	无线电
1876 - 1910	R. 柯赫	微生物学	药物
1887	A. A. 迈克耳孙	以太漂移实验的失败	宇宙本质的理论

	E. W. 莫利		
1887－1888	H. 赫兹	光电效应 无线电波	防盗报警器 无线电、电视
1895	W. 伦琴	发现 X 射线	骨骼摄影
1896	A. H. 贝克勒耳	发现放射性	除去皮肤肿瘤
1897	J. J. 汤姆孙	发现电子	电子回旋加速器、原子击破器
1897	C. 艾克曼	治疗脚气病	维生素
1897－1898	R. 罗斯	蚊子传染的疟疾	公共卫生
1898	M. 居里和 P. 居里	发现镭	原子结构
20 世纪的革命			
1900	M. 普朗克	能的量子化	物理学基础
1900－1901	W. 里德和美国陆军的一个小组	蚊子传染的黄热病	公共卫生
1900－1905	H. 德·弗里斯等人	突变引起的变化	植物、动物育种
1901	G. 马可尼	横渡大西洋的无线电信号	无线电、电视
1905	A. 爱因斯坦	空间－时间相对性；质－能相当性	研究宇宙的本性
1908	A. 比内	智力测验	心理测验
1909－1910	R. A. 密立根	电子电荷	原子的电性
1910	T. 摩尔根	果蝇的基因	遗传的研究
1911－1919	E. 卢瑟福	原子核的学说 元素的嬗变	制取用于原子弹的钚
1913	N. 玻尔	氢原子的学说	原子结构
1914	J. B. 沃森	心理学的行为学说	研究动物和人对刺激的反应
1915	A. 爱因斯坦	引力理论	空间航行
1921－1922	F. G. 班廷 C. H. 贝斯特	治疗糖尿病的胰岛素	医学
1923	A. H. 康普顿	X 射线粒子的性质	研究物质与能量
1924－1925	W. 海森伯	矩阵力学	物质结构
1924－1926	E. 薛定谔	波动力学	物质结构
1928－1929	A. 弗莱明	发现青霉素	治疗疾病
1932	J. 查德威克	发现中子	核动力反应堆
1932	H. C. 尤里	发现重氢	裂变炸弹
1934	I. 约里奥－居里和 F. 约里奥－居里	用轰击制造放射性元素	医用放射性同位素
1934	E. 费米	人造同位素	原子弹
1938－1939	O. 哈恩 F. 斯特拉斯曼 L. 迈特纳	铀的裂变	核能释放

第二次世界大战、空间时代和信息时代*

1939－1945	原子弹 远程火箭	喷气推进 核反应堆	抗生素 雷达
1946 至今	晶体管 人造卫星 激光	电子数字计算机 空间探索 集成电路	射电望远镜 太阳能电池 微处理器

科学领域 THE SCIENCES

英语中"科学"一词来源于拉丁文 scientia，意即"知识"或"技术"。现在普遍地特别是在学校课程中，专指物理科学和生命科学的研究，例如物理学、天文学、化学、生物学、解剖学和地理学等的研究。

现在称为科学的各个研究分支过去一度被归人哲学之下，科学这个包罗万象的名词，意味着对知识的追求。直到 19 世纪初，物理学家和化学家仍被称为哲学家。现代经济学的创始人亚当·斯密曾以道德哲学家，而不是经济学家闻名于世。科学家一词是英国作家 W. 惠威尔于 1840 年创造的，逐步发展成特指研究某一专门知识领域的工作者。自然科学在那个时代声望很高，它把自己的威信分给一些知识领域，使它们不同于其他不被认为是采用科学方法的研究领域。

科学方法不能局限于知识的某些特定分支的方法。每个学科领域都有其特定的目的及达到该目的的方法。物理学的目的和方法就与生物学或地理学的不一样，但都同样合理地称为科学。其他的学科领域——历史学、社会学、考古学或心理学，也都可以称为科学，因为它们也是采用适合本学科的方法寻求知识。

科学从来不是一个固定的知识主体，而是一个不断前进的寻求新信息的过程，即科学化的过程。"科学的"一词即表达了这一含义。当寻求知识的过程停止的时候，留下的是将要代代相传的传统。科学不排斥传统，而是继续发展传统。牛顿在给物理学家 R. 胡克的一封信中对他以前的科学创造者表示了敬意。他写道："如果我能比您或笛卡儿看得更远的话，那是因为我站在巨人的肩膀上。"

在科学的各个领域之间没有明确的界线，各领域间都存在一定的联系。各领域都运用自己的信息和方法，也采用其他领域的信息和方法。因为整个科学领域过于庞大，无法作为一个整体进行研究，为方便起见这才使用各个领域的专门名称和定义。科学通常分为物理科学、生物科学和社会科学，进一步又细分为许多专门领域。有些领域，如生物化学和物理考古学，则结合了两个或更多的领域。

* 战时以及战后的许多成就是由许多科学家的群体协力完成的（他们获得了大量的发现），因此这里没有列出这些发现的具体年份以及科学家个人的姓名。

物理科学

物理科学研究的是非生命物质——从组成原子的微小粒子到宇宙本身。其学科范围包括天文学、化学、地球科学、数学和物理学。

数学 这是一门古老的科学，研究逻辑推理和定量计算，包括数和形以及各种计算和测量方法。现代数学已经从一门简单科学发展成非常抽象的理论。数学是所有其他科学使用的语言，也是许多其他科学分支精确化的基础。

算术是用数进行计算的科学。代数研究的是用符号代表的数之间的关系。几何研究直线和角的量度以及它们之间的关系。微积分是用来表示函数变化速率的数学体系。微积分又分为微分和积分。微分研究的是变量的变化速率，积分考虑了微分的极限值，并用来确定长度、体积或面积。以数字形式收集信息及其列表和解释的过程，是统计学的研究内容。

物理学 研究能量的各种形式，例如热、声和光，它们的性质、来源以及如何互相转变。物理学不仅研究物体在外力作用下的表现，而且还研究引力、电磁力和核力场的性质和来源。

电子学是对电子的研究和控制，特别是对计算机和晶体管进行研究的学科。有些物理学家研究了物质在极低（低温学）或极高温度下的性质。热力学研究分子运动所产生的热。

光物理学研究辐射能的物理特性，例如对视觉的影响。可见光谱以外的其他辐射能形式也在其研究范围之内。光学是对波长小于微波大于 X 射线的电磁波的研究。声音是物理学中声学和超声学的研究对象。

核物理学研究原子核中粒子及其在外力扰动下的能量效应。固体物理学研究固体物质包括晶体的性质和结构。

力学范围很广，研究的是力对运动或静止状态下物体的作用。力学包括动力学，研究产生或改变运动的力；静力学，研究力的平衡或静止的物体。空气动力学是一门研究流体（空气）与固体间的运动的流体力学。流体动力学研究运动中的液体。运动学研究运动，不考虑运动对物体产生的作用。动力学研究非平衡力导致的运动变化。

工程学应用科学原理将自然资源转变成对人类有益的结构、机器、产品和工艺过程。传统的工程学分为 4 个基本学科：土木工程学、机械工程学、电机工程学和化学工程学。其他工程学学科还有采矿、核技术及环境控制。

化学 研究元素和化合物物质的性质、成分和结构的科学。化学还力图解释物质所发生的转变以及在转变过程中释放或吸收的能量。化学又分为许多子学科，包括分析化学、有机化学、无机化学、物理化学、胶体化学、生物化学、电化学、核化学和化学工程等。生物化学和有机化学是研究生物的化学，是物理科学和生物科学相互关联的例证。化学的其他专门领域注重化学在各种工业中的应用。比如说，冶金学研究从矿物中提炼金属。冶金学的一个分支研究制造特殊用途的金属合金。石油化学研究从原油中生产商业产品。

天文学 研究宇宙中天体和物质的起源、演化、成分、距离、大小和运动。天文学包括天体物理学，研究所有宇宙物质的物理性质和结构；天体测量学，测量天体的大小、距离和运动。宇宙航行学是使人类能在外层空间航行的科学。

天体力学研究物体在空间的运动，以及引力对其运动的影响。天体力学常用来确定地球卫星的重量和速度。宇宙学研究整个宇宙的起源、结构和演化。在射电天文学和雷达天文学中，从地球发射无线电和雷达信号到较近的天体——流星轨迹、月球和近地行星，利用回波获取有关它们的信息。

天文学的其他领域包括监测天体发射的X射线、γ射线、紫外线和红外线辐射。天体导航是通过测量恒星的位置确定地球上某一点的位置。考古天文学将天文学与考古学、人类学及神话学联系在一起。

地球科学 其目的是了解地球的现状和过去的演化史。它包括研究地球大气、水、地表及地球内部结构的物理学、化学和生物学的许多方面。地球科学的某些专门学科对地球的磁场、重力、大小和形状进行细致的测量。

地球科学像其他物理科学一样，包括一些专门的学科，其中最大的学科就是地质学。地质学研究地球的历史、构造和组成，以及这一发展过程对地球的影响。地球科学包括地貌学、地球物理学、地震学、地球化学、气象学、气候学、水文学和海洋学。

某些地球科学领域因其社会应用而著名，如气象学，它通过天气预报提供有关天气的信息。

生物科学

生物科学研究的是所有生物之间的关系、生物的环境，以及为维持生命所必需的一定条件。尽管生物科学的各个领域有着明显的差别，它们全是以相同的基本原理而相互关联的。研究动物和植物的动物学和植物学对医学领域作出了重大的贡献。

生物学 研究所有生物——植物和动物——以及它们的生命过程的科学。它的两个主要分支是动物学和植物学。生物学的另一学科是生理学，它研究生物各器官的功能及生物体内的化学和物理过程。现有的生理学知识大都是通过研究细胞和组织对外界环境变化的反应而获得的。新技术的发展扩大了生理学的范畴。比如说，放射性同位素目前已用来测量细胞内部和细胞外液体中低浓度物质的数量及其变动。因此，研究细胞的细胞学与生理学有关。微生物，包括原生动物、藻类、霉菌、细菌和病毒的结构、功能和分类，是微生物学的研究内容。

研究动物、植物和微生物的大小、形状、结构及其内部各部分之间关系的学科称为形态学。形态学一词有时和解剖学相混淆。解剖学是通过解剖和其他手段描述生物体的结构，而形态学的着眼点是从进化、功能和发育的角度解释生物体各部分的形状和布局。

生物物理学的研究内容是如何应用物理科学的原理和方法解决生物学问题。其主要研究领域是物理作用的影响，如电和机械力分别对神经和肌肉产生的影响；生物与物理作用如光或声的相互作用；生物在运动、导航和通信中与环境的相互关系。生物化学研究的是组成细胞并在维持生命的化学反应中起关键作用的化学物质。

遗传学研究遗传问题特别是基因问题。遗传学已经用于遗传性疾病的诊断、预防和治疗，动植物育种，以及发展利用微生物的生产工艺。

生物学的其他领域还很多，其中有胚胎学，研究胚胎的发育；生态学，研究生物体之间及生物体与环境之间的相互关系；分类学，研究植物和动物的分类；森林学，研究树木的生长、管理和栽培。

医学 从定义上讲既是一门技术又是一门科学。医学的内容是保持健康和预防、减轻或治愈疾病。预防、诊断和治疗动物疾病的科学称为兽医学。另外一个专业为牙科学，专门治疗牙齿的疾病。精神病学是医学的一个分支，研究精神紊乱的诊断、治疗和预防。心理学有时归入社会科学，是研究人类及其他动物的行为及经验的行为体现。

社会科学

研究人类行为的社会及文化属性的任何学科或科学分支基本上都可称为社会科学。这些学科一般包括经济学、政治学、社会学及社会心理学。行为科学一词常指某些社会科学，如人类学和语言学，它们都与人类行为有关。

经济学 主要是分析和描述商品的生产、分配、消费及其服务。微观经济学研究个别领域或活动单位，如个别农民、商业企业及贸易商等的行为。宏观经济学研究整个系统，特别是产出和收入的总水平以及经济的各部门间的相互关系。

社会学 科学地研究社会、社会机构和社会关系，涉及有组织的人群结构、相互关系和群体行为。与之相关的一个学科是社会心理学，研究社会群体如何影响个人的性格、态度、动机和行为。

地理学 与自然科学和社会科学有关，研究地球表面的某些特征，它们的相互关系及对人类的影响。自然地理学包括气候学、水文学以及研究地形的地貌学。人类地理学研究处于社会和文化中的人的经济、政治和社会活动。有关人类人口的结构和动态，包括年龄、性别、出生、死亡和移民活动等内容，是人口统计学的研究对象。

政治学 研究各种政体结构的起源、发展、结构、权力、功能、哲学基础和行政管理。政治学家研究一切层次的政体——从地方政府到国际性管理机构。其他方面还有企业、劳工、立法程序、自然资源和区域性规划。虽然多数历史学家将历史看做人文学科的一个门类，但许多人认为历

史学是一门科学。法学是研究用习惯和规则管理社会的学科，有时也被认同为科学，特别是比较法学。

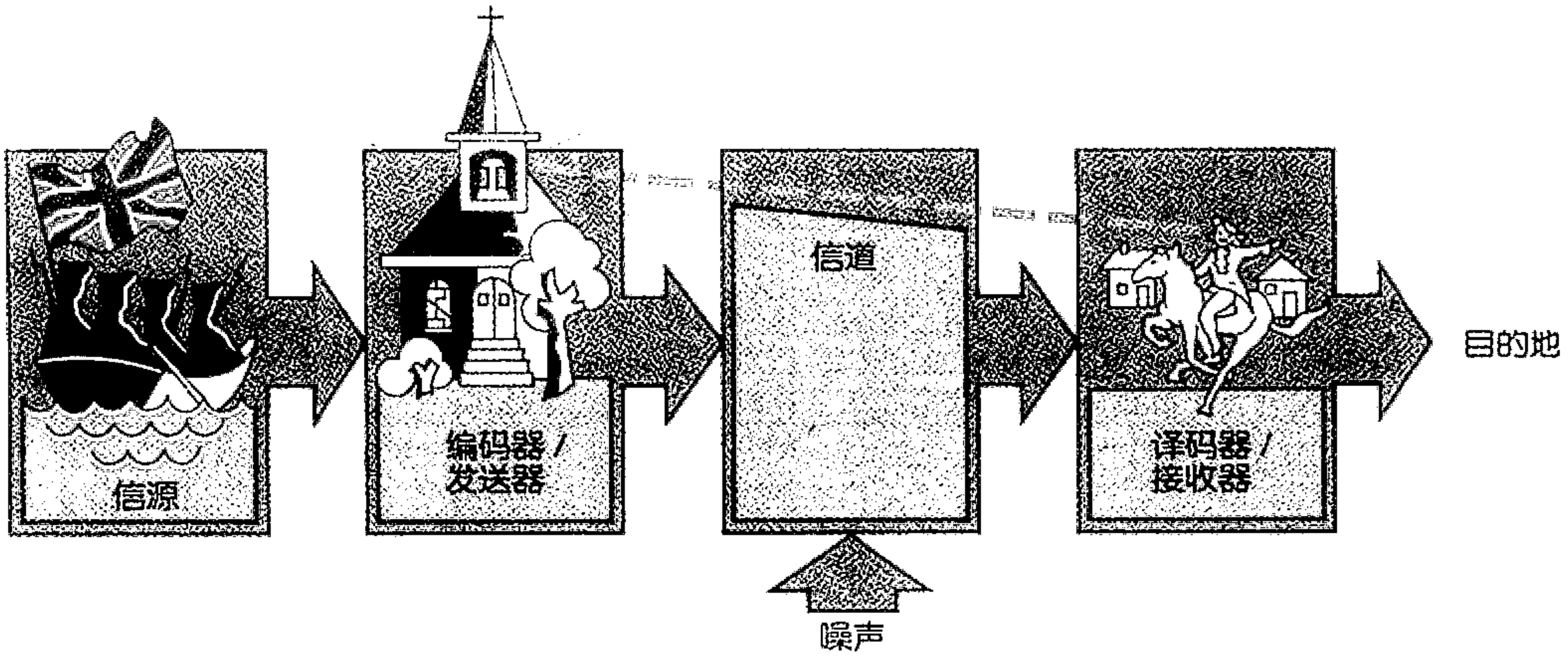
文化人类学 是有关人类文化，特别是有关社会结构、语言、法律、政治、宗教、艺术和技术的科学，特别是把人类行为的模式作为一种社会和文化现象进行描述。语言是区分人类和其他动物的重要因素，因此语言学是社会科学中的一个基本内容。语言学进一步发展形成语义学，涉及词汇的演变和基本含义。体质人类学研究人体各部分的测量尺寸。考古学主要研究早期的文化和文明。

信息论 INFORMATION THEORY

我们生活的时代有时被称做信息时代。但什么是信息？一个消息中有多少信息？现在我们来看两种不同情形，如何确定它们的信息含量。假定，你计划同你的朋友在附近公园里打网球，但天下大雨把你阻挡在家里。这时候电话响了，你的朋友告诉你球赛取消了，因为天下雨了。这个消息并不包含信息，因为你已经知道天在下雨。但假定你计划是在离你朋友家几里远的公园里打网球，而此时天空乌云密布，气象员昨夜又预报过今天上午下雨的可能性很大。这时候你的朋友打电话给你，并告诉你，因为天下雨球赛取消了。这个消息就包含信息，因为在这之前你不知道公园里是否在下雨。因此，信息是消除不确定性的任何事情。

信息论量度信息，并研究信息媒介的有效利用。信息通信系统是由下述部分组成的：信源产生传输的消息或信息。编码器或发送器加工处理消息，把它转变为适合于信道的信号。信道是传送信号的媒介，信道上的随机干扰或噪声引起接收信号与传送信号多少有点不同。噪声严重限制了信道上传送的信息量。译码器或接收器加工处理接收的信号，使它复原为最初的消息。

下图用 1775 年北美独立战争中的关键性事件（P. 里维尔于 4 月 18 日午夜奔驰到波士顿西北民兵处报信：英军即将袭击民兵）来说明通信系统的各个部分。信源是英军，信源输出的信息是英军将从陆上或海上袭击列克星敦和康科德。编码器或发送器是诺斯教堂的敲钟人，他在钟楼上放置一个提灯表示袭击从陆上来，放置两个提灯表示袭击从海上来。信道是从钟楼到里维尔处的视线。译码器或接收器是守候者。任何妨碍里维尔观察的东西，如风中摇曳的树枝，都构成噪声。通信只是在“从陆地进攻”和“从海上进攻”两个备择对象中选择一个。只要在编码器和译码器（敲钟人和里维尔）关于备择对象和专门信号之间存在预先的约定，这个通信系统就能从任何两个备择对象的集合中传送一个选择。例如，他们是步兵，还是炮兵？较复杂的通信系统因为有较多的备择对象，所以还能传送关于袭击军队数量的消息。



通信系统框图

二进数字和信息传输

在电传通信中，信源是操作电传打字机的人，而电传打字机就是编码器。打字机由电话线（信道）与远处城市中的电传打印机（译码器）相连接。打字人通过按动电传机的键钮来传送消息。这些键钮就是一组备择对象。每一键钮的按动都能引起一个二进数字序列的传输，这个二进数字序列就代表了这个键钮上的字母。所谓二进数字或者是指 0，或者是指 1（见：**记数制和数**）。二进数字是计算机语言的基础。由电传打字机输出的脉动的信息都编码成二进数字，在商业电话线上传送，在另一终端，二进数字序列被反译为适当的文字。就信息论的研究目的而言，为单个字母编码所需要用的二进数字序列的长度比打字员实际上如何对信息编码更为重要。为了表示 4 个备择对象，只要用两个二进数字：00、01、10 和 11。类似地，三个二进数字能表示 8 个备择对象：000、001、010、011、100、101、110 和 111。一般说来，二进数字序列每增加一个二进数字就使备择对象的数目翻一番（2 个二进数字—4 个备择对象，3—8，4—16 等）。用数学的简洁的记法，我们可说，n 个二进数字能表示 2^n 个备择对象。

对数，尤其是以 2 为底的对数，常用于计算信息容量。一个数的以 2 为底的对数可定义为使 2 的乘幂恰等于该数的那个幂指数。由此可得出，对于任意的 n，有 $\log_2(2^n)=n$。因此，如果电传机键盘上有 m 个键钮，那么任一单独的

键钮就一定能激发一个长度至少为 $\log_2 m$ 的二进数字序列。例如，如果键盘有 32 个键钮，那么有 5 个二进数字的序列就能表示任何一个给定的键钮（00000 表示 A，00001 表示 B 等等），因为 32 以 2 为底的对数是 5.00000。

人类通信仍然是信息传输的另一个例子。一个有思想的人就是信源，而这个思想则是信源的输出。这个思想被编码成词，并被写下。另一个人读到这些词时，就对它们译码，力图重建书写人的思想。每一个写出来的词都是从备择对象的集合中选出，即从语言的词汇中选择出来的。但信息论并没有太多说明这种或那种生物通信，因为对于应用信息论的数学概念来说，生命的通信系统还是没有被充分理解的。但是二进数字表示在一组备择对象中的一个选择，而信息就是二进数字的传输，这一基本见解无疑会有助于将来对生物信息系统的研究。

熵——信息的量度

熵是信源中的信息量。任何信源的熵是消息中能代表信源的最少的比特数。比特是 bit(binary digit)的音译，意为二进数字，亦译作“位”。另外，每个信道有一个容量，即它能可靠运载的最大比特数。假设，信源产生的信息熵为每秒 H 比特，信道容量为每秒 C 比特。如果 H 比 C 小，则信源输出能可靠地被编码。如果 H 比 C 大，则信源输出不能可靠地传送到目的地。

最简单的信源是有 m 个等可能性地被选择的备择对象，而 m 是 2 的幂。这种信源的熵的数学定义是 $\log_2 m$。传送给里维尔的信息熵是 1 比特（$\log_2 2=1.00000$）。

但如果信源的备择对象不是等可能性的，则问题变得比较复杂。例如，假设信源的备择对象是字母 A，B，C，D。还假设字母 A 出现的概率为 $\frac{1}{2}$，字母 B 的概率为 $\frac{1}{4}$，字母 C 和 D 的概率各为 $\frac{1}{8}$。可以为此信源设计出下述两种码。甲码要求用我们熟悉的两个二进数字来表示信源输出。而在乙码中，A 是用单个二进数字表示的，C 和 D 是用三个二进数字表示的。因为 A 出现的频率比 C，D 大得多，所以需要的平均比特数比 2 小（在比例中为 $1\frac{3}{4}$ 比特）。

字母	概率	甲码	乙码
A	$\frac{1}{2}$	00	0
B	$\frac{1}{4}$	01	10
C	$\frac{1}{8}$	10	110
D	$\frac{1}{8}$	11	111

在这个例子中，熵是什么？我们不久将从一个公式中获知，这个熵也是 $1\frac{3}{4}$ 比特。为了获知有不等概率字母的信源的熵，我们必须首先求出每一个字母的信息量或不定度。如果一个字母有概率 p，则它的信息量是 $\log_2\left(\frac{1}{p}\right)$。在前面的例子中，字母 A 的信息量是 1 比特$\left[\log_2\left(\frac{1}{\frac{1}{2}}\right)=\log_2 2=1\right]$，字母 B 的信息量是 2 比特$\left[\log_2\left(\frac{1}{\frac{1}{4}}\right)=\log_2 4=2\right]$，字母 C 和 D 的信息量是 3 比特$\left[\log_2\left(\frac{1}{\frac{1}{8}}\right)=\log_2 8=3\right]$。由此可以得知，不大可能发生的事情比很可能发生的事情有较多的信息。这就从数学上证实：我们从罕见的、异常的事情中可获取大量信息，而从一定发生的事情中得不到任何信息（$\log_2 1=0$）。

一个有相继而独立字母的信源的熵或平均不定度等于这些字母信息量的平均值。因此，如果信源的字母是 A_1，A_2，…，A_m，而它们的概率是 $p(A_1)$，$p(A_2)$，…，$p(A_m)$，则信源的熵是：

$$H=p(A_1)\log_2\frac{1}{p(A_1)}+p(A_2)\log_2\frac{1}{p(A_2)}+\cdots+p(A_m)\log_2\frac{1}{p(A_m)}$$

，从这个公式得到的熵永远在 0 与 $\log_2 m$ 之间。当一个字母一定出现（概率为 1），其他字母概率为 0 时，熵达到下限。当各字母出现的概率都相等，每个都等于 $\frac{1}{m}$ 时，则熵达到上限。对前面例子中的字母 A，B，C，D 应用这一公式，我们得到：

$$\begin{aligned}H&=\frac{1}{2}\log_2\frac{1}{\frac{1}{2}}+\frac{1}{4}\log_2\frac{1}{\frac{1}{4}}+\frac{1}{8}\log_2\frac{1}{\frac{1}{8}}+\frac{1}{8}\log_2\frac{1}{\frac{1}{8}}\\&=\frac{1}{2}\log_2 2+\frac{1}{4}\log_2 4+\frac{1}{8}\log_2 8+\frac{1}{8}\log_2 8\\&=\frac{1}{2}\times1+\frac{1}{4}\times2+\frac{1}{8}\times3+\frac{1}{8}\times3\\&=\frac{1}{2}+\frac{1}{2}+\frac{3}{8}+\frac{3}{8}\\&=1\frac{3}{4}\text{ 比特}\end{aligned}$$

一般说，选择一个好的编码的策略，是使每一个码的字长等于相应的信源字母的信息量。上述乙码就是这种策略的例子。

在所谓“20 问”的游戏中，也能看到熵和信源编码的某些思想在起作用。这种游戏这样进行：一个游戏者（信源）想一个事物，另一个游戏者（目的地）要通过问 20 个只能回答“是”和“非”的问题来猜出它。这种游戏的目的是要提出使 1 比特能平均提供关于这个事物最多信息的问题。这意思是说，问的问题应该把剩下的想见中的事物分成两个等可能性的集合。如果上一个问题已经确定该事物是一个人，那么问题“他还活着吗？”就会比“他是林肯吗？”能提供更多的信息。利用这种策略，游戏者只要问 20 个问题，就能从 2^{20} 个可能的事物中辨认出一个事物来。

由于信源相继输出的字母往往不是统计独立的。因此熵的公式不是完全正确的。例如，在书面的英语中“q”后面

常跟"u"，而"h"前面是"t"的概率远比单独"t"出现的概率要大。这种字母的依赖关系使公式中熵的值减小。但我们仍可以用公式来估计熵，用信源字母序列的熵除以字母数就能得到每个字母的熵。当字母序列变长时，这个估计就趋近真实的熵。在书面英语中，由字母的依赖关系所引起的熵的减小量是非常显著的。为了确信此点，可让你的朋友写一没有完的句子，然后你去猜最后没有写完的词的下一个字母是什么。估计书面英语中每个字母的熵是 1 比特，而不是从 26 个独立而等可能性字母的信源期望能得到的 4.7 比特。

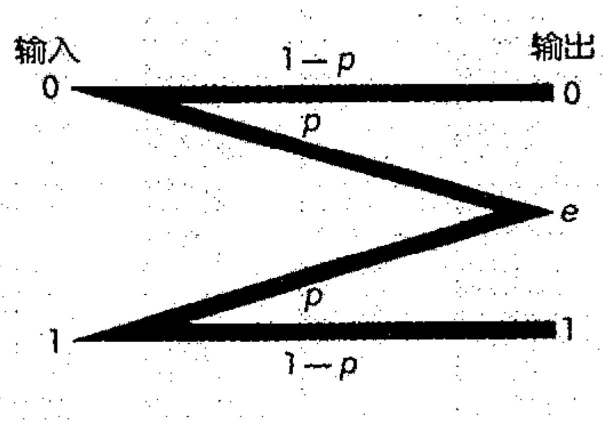
信道和噪声

信息系统的信道无论是导线、无线电波、激光束还是其他媒介，系统的输出信号永远不会与输入信号完全一样，因为有噪声强加于信道上。噪声可以由热、大气扰动、串话（串话是从其他信道上来的干扰）等引起。收音机中的静电干扰、电视屏幕上的"雪花"、电话中的背景嘈杂声等都是人们熟悉的噪声的例子。为了在无线电、电视和电话的信道上传送信息，一定要用到调制解调系统（数字数据调制器和解调器）。在信道的一端，调制器把载有信息的符号序列转换成适合在信道上传输的信号。在另一端，解调器把接收到的信号又变回到原来的符号序列。但信道的接收端，由于偶然性引起的误差，还存在噪声的干扰。

正像信息论用带有出现概率的符号集合来描述信源，信道也可用输入和输出符号集合以及噪声效果概率集合来描述。下面讨论两种信道类型。

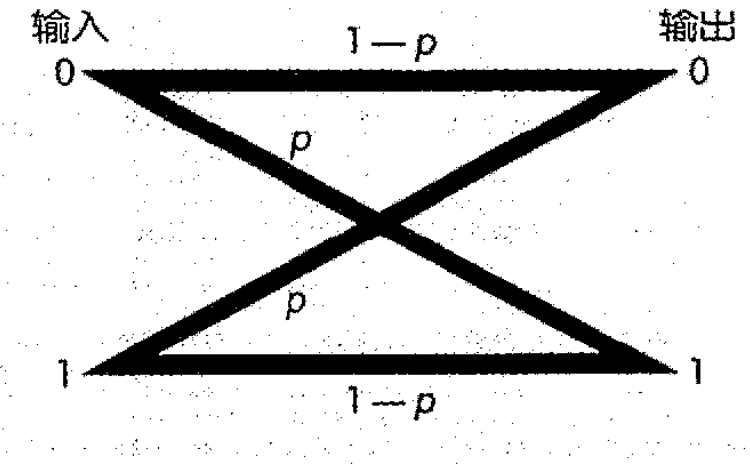
二元删除信道有两个输入符号 0 和 1。它们中任一个都能传送。噪声删除传输符号的概率为 p。当删除发生时，表示删除的符号 e 代替 0 或 1 出现在输出中。但噪声不删除传输符号的概率为 $1-p$，此时 0 或 1 正确无误地出现在输出中。

假设与信道输入相连的信源不断产生符号 0 和 1，每种符号产生的概率为 $\frac{1}{2}$（很可能一半时间是 0，一半时间是 1）。在任一符号被接收到以前，输出就有出现什么符号的 1 比特信息熵（不定度）。在接收到 0 或 1 之后，就不存在这种不定度。这时候，1 比特信息被传送。但如果出现删除符号 e，则仍然有传送的是什么符号的 1 比特不定度。这时候，没有信息被传送。既然产生 e 的概率是 p，所以平均到达的信息在数学上说是 $1-p$。



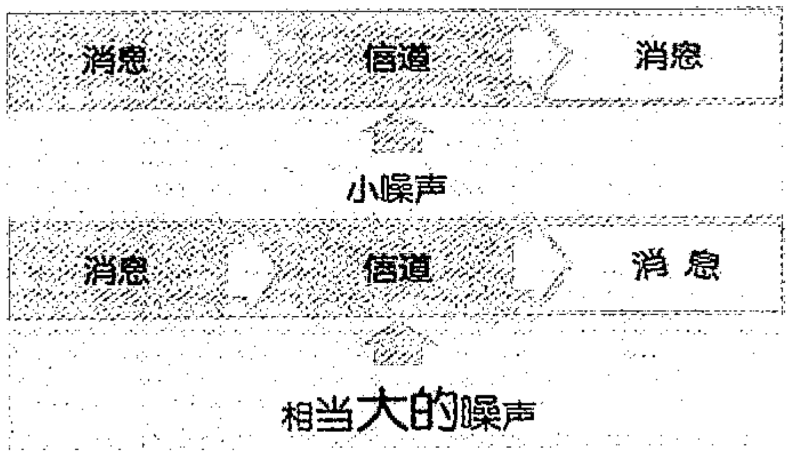
二元删除信道

二元对称信道也有两个输入符号。但在这种信道上，噪声以概率 p 把 0 变成 1 和把 1 变成 0，而不是以概率 p 删除它们。假定信源与删除信道的相同，则在符号接收到以前，就存在传送什么符号的 1 比特不定度。即使在接收到比如 0 以后，仍然还存在传送的是什么符号的某种不定度。这时候，输入可能是 0 的概率为 $1-p$，而输入可能是 1 的概率为 p。



二元对称信道

当信道上发生许多误差时，为了传输可靠的数据，需要综合的编码和译码策略。大多数这类策略都要依靠某种形式的奇偶性校验。在一个二进数字集合上的奇偶性校验只不过是一种数字选择：如果二进数字的和是奇数，则选 1；如果是偶数，则选 0。如果传送的是二进信源数字序列，并在序列后面跟随一个奇偶性校验，那么任何一个被删除的数字都能从校验中重新计算出来。在更高级的应用中，每个信源数字要受许多奇偶性校验的检查。这种编码和译码技术在种种太空探测传回地球的高质量信息的传输中已大显身手。



被认为是噪声的随机干扰足够大时，能歪曲信道上传输的消息。

控制论 CYBERNETICS

研究包括生命体、机器甚至社会组织在内的通信和控制系统的跨学科的科学称为控制论。术语"控制论"是由美国数学家维纳在他 1948 年出版的《控制论：或关于在动物和机器中控制与通信的科学》（中译本科学出版社 1963 年出版）一书中引进的。

维纳是在研究第二次世界大战中火炮射击活动目标的基础上发展自己的控制论思想的。这些研究导致控制和通信工程中某些统计方法的发展。它们还使维纳得出结论：在通信理论中，信息本质上是统计的，必须遵循概率的规律。这是控制论的基本思想。

在机器或人体系统中，为了能获得预期的工作性能，必须使实际结果的信息便于机器或人脑使用。因为实际结果

通常不能同预期的行动完全一致，所以必须连续地或经常地调节进程。在过去的工作情况的基础上调节行为的原理称为反馈。反馈也是自动化和控制系统的基本概念。

基本反馈系统包括这样的机器或生物体，它们能利用自己控制下的某些过程的输出信息来修正自己的行为。在恒温器和加热器或冷却器之间的反馈回路是一个显明的例子。在人类行为领域中，用手捡起一个小物体也是反馈控制过程的一个很好的例子。“捡物体”这一动作，看起来很平常、很简单，但实际上非常复杂，它包含连续不断的反馈。也就是说，臂、手和指的运动在受大脑控制下的神经系统调节的同时，大脑本身也受到对眼和触觉收集到的信息的解释的支配。其他如商业组织对经济或市场环境的反应和制造工厂自动化工序的运作也都是反馈的实例。

维纳对控制论有如此大的早期影响。后来，这一科学领域已创造和发展出自己的一套方法和特殊的术语。今天，通信理论、控制理论和计算科学已被视为不同的和独立的领域。仿生学和控制论二者都使用生命系统的多种模型；仿生学是为了寻求有用的人工机器和系统的新观念；控制论是为了探索生命体行为的解释。在计算机科学中，控制论的概念现在包含在人工智能的领域中。

撰文：Fred Landis

伪科学 PSEUDOSCIENCES

不能用科学方法证明的试图解释自然现象的体系，均可称之为伪科学。各类伪科学虽都未获科学证明，却在世间广为流传，尤其是占星术、超感官知觉（ESP）和笔迹学之类。对于此类方术的确实性，科学家与伪科学老手之间多年争辩不休。伪科学的辩护者说，有记载的那些无法解释的现象的数目，正是他们信仰合法性的证明；而伪科学的反对者则坚持认为，基本规律不明和实在性未经证实的事物，都不能算作科学。

占星术 占星术因有专书解说，且在报刊上辟有占卜专栏而传播开来。占星术研究天象及其对世人命运的影响。现代占星术试图根据个人诞生时的天象相对位置，来推断人的命运和未来。西方文化中常采用的占星术是由古希腊人所创始的。埃及人对现代占星术直接影响不多，他们曾创造出一年 12 个月、每月 30 天，而在年末增加 5 天的历法。后来，希腊人采纳这个历法，作为天文学的参照标准。“占星图”（horoscope）一词就来源于希腊文 hōroskopos，意为“守时者”。

古希腊人认为太阳围绕地球运转，太阳在运转中经过黄道十二宫（星座）。现在人们已经知道，是地球围绕太阳运行，而且知道太阳并不经过或靠近黄道带上任何遥远的恒星。此外，原来被认为一成不变的星座形状，实际上是由一群不断运动的恒星随机形成的。

手相术 亦称看手相，即根据人手掌上的纹路预测疾病，揭示人的特性和预言人的命运。古希腊的类似手相术形式，可能是从一种古老的印度传统方术发展而来的。手相术在欧洲发展时盛时衰，而到了 19 世纪再度盛行，这主要是由于 C. 达尔庞梯尼、W. 贝纳姆和 L. 哈蒙的著作所造成的。尽管对手相术士所揭示的人体特征有否心灵的或预兆的意义并无科学的证明，但人手确实能显示人的健康、卫生、职业和精神癖好等状况。不同的手相术士采用不同的手纹理解分析体系，因而对同一人的手掌就可能有不同的推算结果。

颅相学 颅相学是认为人的颅骨的锯齿状褶缝是由于有无某种精神才智而形成的一门伪科学。颅相学家自认为能根据人的整个颅骨外形，看出人的性格和才能状况。大约在 1800 年，德国医生 F. J. 加尔画出大脑表面的 26 个区域，宣称各自有其特定的心智功能。加尔的学说后来为 G. 库姆和 J. 斯普尔茨海姆所修正和扩充，他们为大脑画出了 35 个区域。直到 20 世纪，颅相学还有着很大的吸引力，但最终被科学研究证明为虚妄。

占算八字 这种方术运用数字来描述人的性格并推断未来。占卦的理论基于毕达哥拉斯的思想。毕达哥拉斯认为，一切事物最终都能简化归结为数字，因而都可以用数字形式表示。现代占卦术士运用类似希腊和希伯来字母那样的特殊数字序列，给每个字母规定一个数字，把人的名字、生辰时刻代换为数字，再分别将其简化为一个单数。他们对照一数表，推算出人的性格和命运。

笔迹学 笔迹学是根据一个人的手写笔迹来推断人的性格。其理论根据是笔迹反映出人的个性。笔迹学家研究手写笔迹，把单个字母的大小、字迹歪斜的程度和规律、字母的花式、棱角和弯曲度都视为揭示一个人下意识精神活动的线索。笔迹学的另一重要观点，是看笔划的轻重和字迹整体外形。笔迹学的批判者常指责笔迹学家不考虑笔迹因人的年龄变化和患病而异的情况。

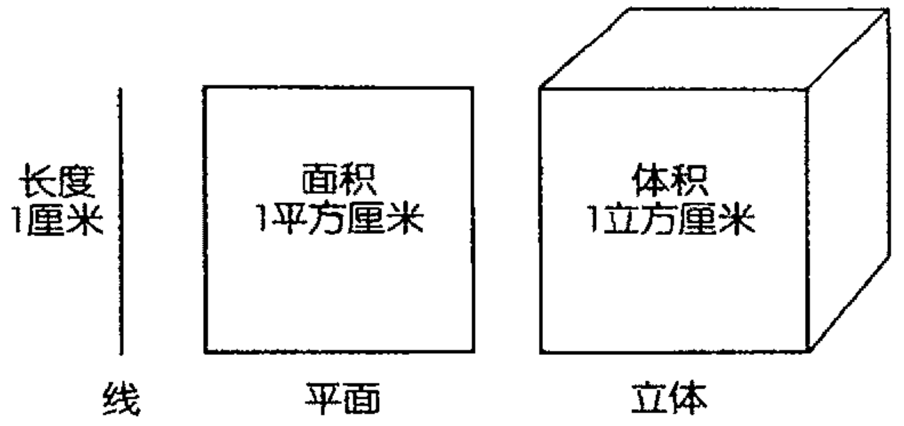
心灵学 研究一切用自然法则无法解释的现象。心灵学也指那些不靠常规感觉能力获得的认知。特异（超常）一词，一般用来指一切形式的心灵现象。心灵学有两个主要分支。一是超感官知觉（ESP），包括特异视力（即非视觉视力）、心灵感应（或称传心术）和预知术。另一分支是意念致动，或称心灵遥感，即仅靠意念影响物体的能力。

特异（超常）功能研究肇始于 1882 年，那一年在伦敦成立了心灵研究会。1888 年，哲学和心理学家 W. 詹姆斯在美国创立了同样性质的组织。另一位心理学家 J. 莱因于 20 世纪 30 年代在美国北卡罗来纳州达勒姆的杜克大学开始一系列著名的特异功能实验，测验一些人的超感官知觉能力。莱因请一批自愿受试者猜“视”一种专门设计出来的“齐纳纸牌”上的 5 种符号（十字、圆圈、方块、五角星、波浪形）。为了研究意念致动，莱因尝试靠意念将一对骰子掷出一定的点数。有些科学家批评莱因采用了不可靠的实验设计和不完善的统计分析方法。20 世纪 60 年代以后，杜克大学对心灵实验重新进行了设计。

撰文：Richard Kadrey

度量 MEASUREMENT

与测量长度、面积和体积有关的算术分支学科叫做度量。度量涉及所谓的几何图形，例如正方形、三角形、圆、立方体、球和圆柱。这些图形的度量常常用于丈量土地，用于建筑、涂饰和裱糊、用于制图和工程，也用于求箱状物、水池和船舶的容积。（参见：**几何学**）



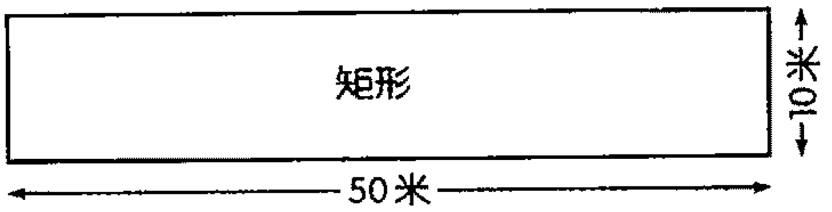
所有面积和体积的度量都以长度的度量为基础。在英语国家，传统的长度单位主要是英寸、英尺、码、杆和英里。这些单位现在已基本被毫米、厘米、米和千米之类的米制长度单位所取代了。

平面图形的周长

长度度量是线的度量。一条线只有一维——长度。一个平面则有两维——长度和宽度。一个平面图形的周长是环绕它的长度。

图1是一块长50米、宽10米的园地的缩比图。这块园地是矩形的。矩形有4条直边和4个直角。

图1



假定我们想知道围起这个矩形需要多少米的篱笆。看得出来，周长是2倍的长加2倍的宽。设周长为 P，长为 l，宽为 w，我们可以写出矩形周长的公式：

周长＝2×长＋2×宽，即 $P=2l+2w$ 或 $P=2(l+w)$

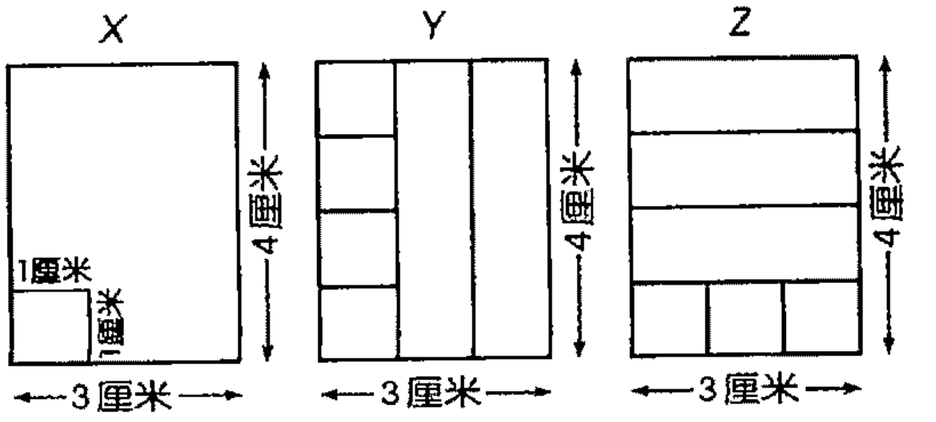
需要的篱笆的米数为 $2\times50+2\times10=100+20=120$，或 $2(50+10)=2\times60=120$。

表面或面积的度量

我们知道，度量长度要量出所量线段中含有多少个某种标准大小的长度单位。度量面积则要量出所量平面中含有多少个某种大小的面积单位。通常使用的面积单位有平方厘米、平方米、平方千米、公亩、公顷等。

矩形 图2是一个3厘米乘4厘米的矩形图。图 X 角上的小正方形代表长1厘米、宽1厘米的正方形（1平方厘米）。

图2



矩形 Y 被分成竖直的3条。其中一条被分成边长1厘米的正方形。我们看到，一条有4平方厘米。那么3条就有3倍的4平方厘米，即12平方厘米。

矩形 Z 被分成4横条。其中一条被分成3平方厘米。那么4条就有4倍的3平方厘米，即12平方厘米。我们看到，矩形面积的平方厘米数等于长度的厘米数乘以宽度的厘米数。如果长度单位被指定为米，面积单位将是平方米；如果长度用千米，面积就是平方千米，以此类推。

如果用 A 表示面积，l 表示长度，w 表示宽度，则矩形面积公式为：

面积＝长度×宽度，即 $A=l\times w$，或 $A=lw$

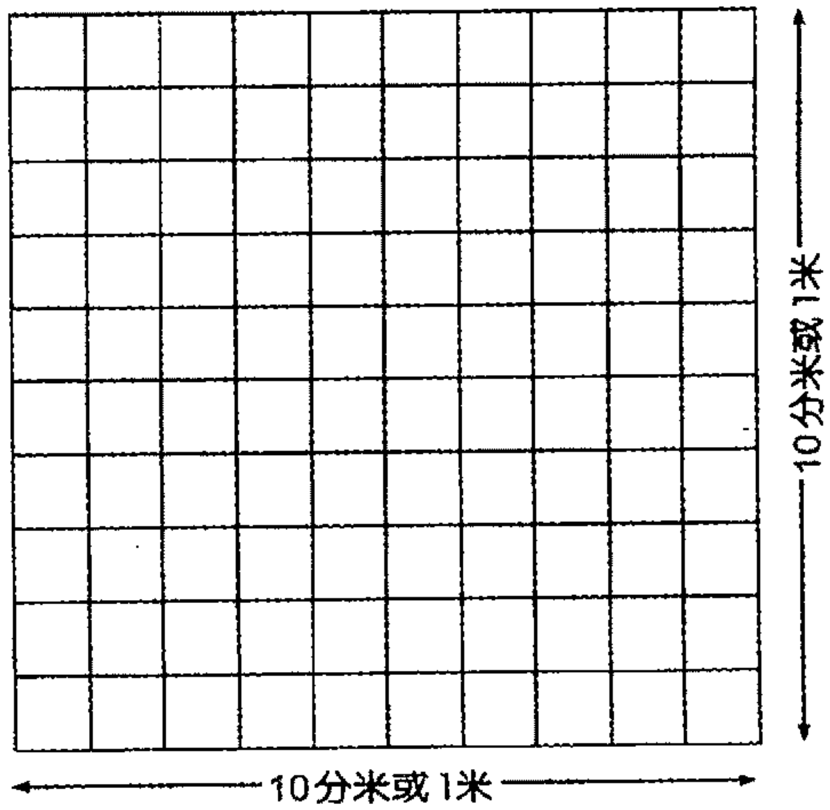
如果一个矩形的边都相等，那么这个矩形是正方形。如果称正方形的一个边为 s，那么正方形的面积便由如下公式给出：

面积＝边×边，即 $A=s\times s$，或 $A=s^2$

我们读 s^2 为"s 的平方"。

利用这个公式，我们可以导出平方面积制的单位。如图3所示，如果一个正方形1米长，1米宽，那么它的面积就是1平方米。因为1米中有100厘米，1平方米面积上能画出 100×100，即10 000个平方厘米，因而说1平方米等于10 000平方厘米。

图3



如果一个正方形是3米长，3米宽，那么它的面积就是9平方米。

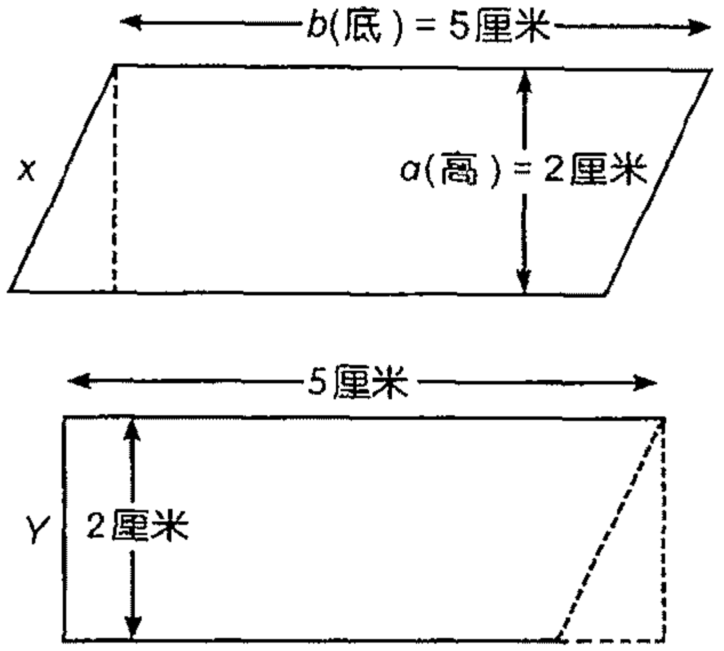
1公亩含100平方米。一块地长80米、宽40米，面积为 80×40，即3 200平方米。3 200除以100，我们得到公亩数为32。1公顷为10 000平方米，32公亩为0.32公顷。

平行四边形 平行线或许可以定义为在相同方向上伸展而永不相交的线。平行四边形是有4条边的平面图形，其相对的边是平行线。所有矩形都是平行四边形，但并非所有平行四边形都是矩形。

任意一组对边都可称为底（长度为 b）。高则用两底之间的垂线度量（长度为 a）。垂线是与底成直角的线。对于矩形来说，高或者说垂线，是图形的一个边。

图4X 是一个平行四边形。如果我们沿虚线剪开，将剪下的一片移到另一边并拼接起来，我们就得到一个矩形

图 4



（图 4Y）。这个矩形的面积是 2×5，即 10 平方厘米。因此平行四边形面积的公式是：

面积＝高×底，或 $A=ab$

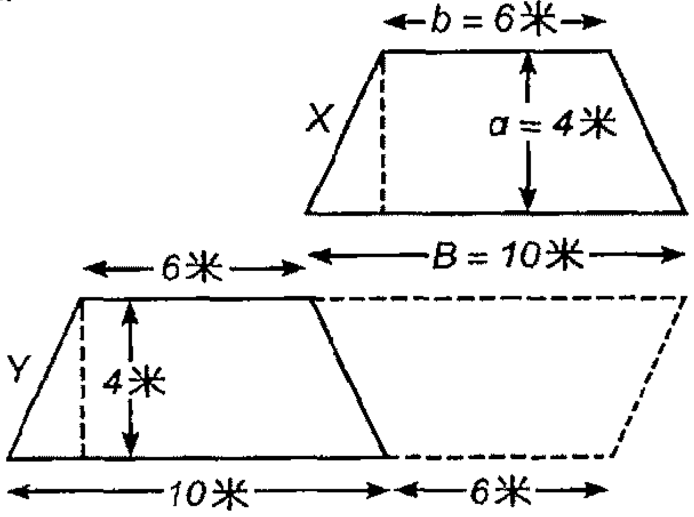
梯形　一个梯形只有两条平行的边——底。图 5X 有一条 10 米的下底（B）和一条 6 米的上底（b）。高（a）是 4 米。如果两个这样的梯形像图 5Y 那样首尾相连地拼接，它们就构成一个平行四边形。每个底等于 $B+b$，或 10 米＋6 米，即 16 米。面积是 4×16，即 64 平方米。梯形的面积是这个平行四边形面积的一半。平行四边形面积是 $A=ab$，因而梯形的面积公式为：

$$A=\frac{a(B+b)}{2}$$

由此得到上述梯形的面积：

$$A=\frac{4(10+6)}{2}=\frac{4\times16}{2}=\frac{64}{2}=32(\text{平方米})$$

图 5



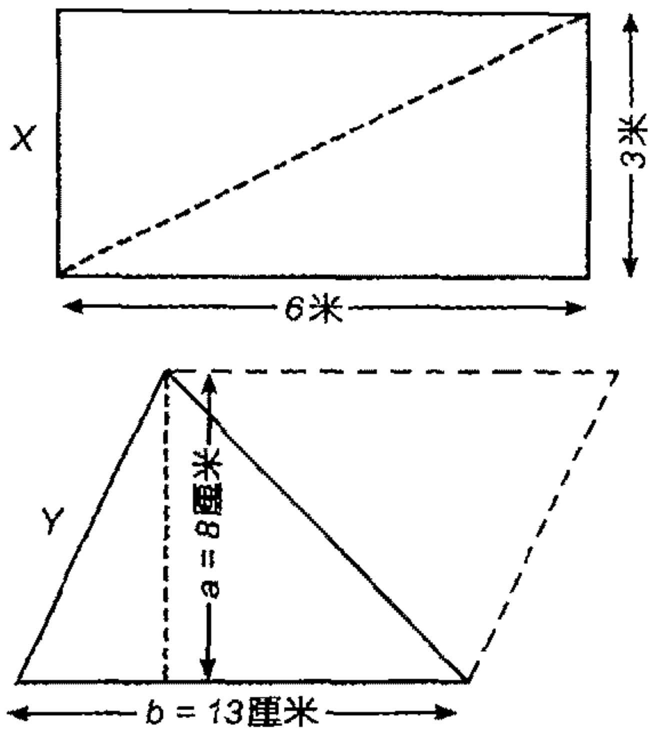
表示梯形面积的另一种方式是口诀：梯形面积等于高与两底平均值的积。

三角形　图 6X 表示一个矩形被一条对角线分成相等的两部分。这两部分都是三角形。三角形是有三条直边的平面图形。我们知道，矩形面积的公式是 $A=lw$，或 $A=ab$。因此，三角形面积的公式是：

$$A=\frac{1}{2}ab，\text{或 } A=\frac{ab}{2}$$

图 6X 中每个三角形都有一个 6 米长的底和一个 3 米长的高。一个三角形的面积计算如下：

图 6

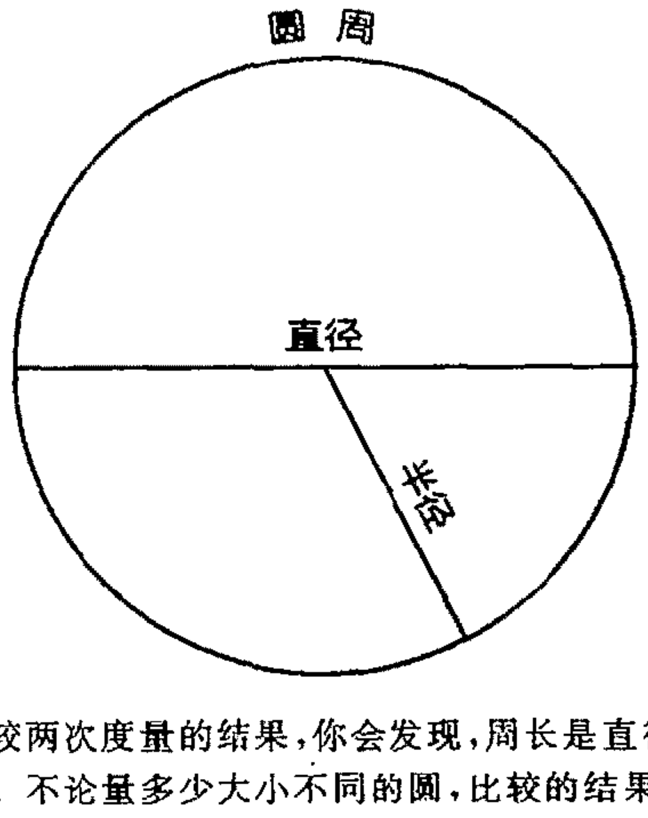


$$A=\frac{3\times6}{2}=9(\text{平方米})$$

图 6Y 中实线画的三角形底为 13 厘米，高为 8 厘米，它的面积为 $\frac{8\times13}{2}=52$ 平方厘米。

圆　如果你用卷尺度量环绕一个圆形锡杯的长度，你就会得到图 7 中圆的周长（C）。如果你度量过圆的最大距离（穿过圆心），你就会得到直径（D）。

图 7



比较两次度量的结果，你会发现，周长是直径的三倍多一点儿。不论量多少大小不同的圆，比较的结果都是如此。这个比率很接近于 $3\frac{1}{7}$，即 3.14。写出 4 位小数，则是 3.1416。为了书写方便，这个数通常用希腊字母 π（读做“派”）表示。因此圆的周长的公式是 $C=\pi D$。

直径的一半叫做半径（r）。半径是圆心到圆周的距离。换句话说，直径（D）是半径（r）的 2 倍。因此，如果我们用 $2r$ 代替 D，圆的周长的公式（$C=\pi D$）就可以写成 $C=2\pi r$。

一个圆形花坛的半径是 $10\frac{1}{2}$ 米。将公式中的 π 换成 $3\frac{1}{7}$，r 换成 $10\frac{1}{2}$，我们将得出周长如下：

$$C=2\times3\frac{1}{7}\times10\frac{1}{2}=2\times\frac{\overset{11}{\cancel{22}}}{\underset{1}{\cancel{7}}}\times\frac{\overset{3}{\cancel{21}}}{\underset{1}{\cancel{2}}}=66(\text{米})$$

图 8X 表示一个圆切成 16 片相等的“大饼块”的形状。图 8Y 表示这些片拼合在一起所成的图形，它看起来几乎是个平行四边形。圆被等分成的片数越多，拼成的图形看起来就越像平行四边形。这个“平行四边形”的“底”等于圆的周长的一半。它的高等于半径。

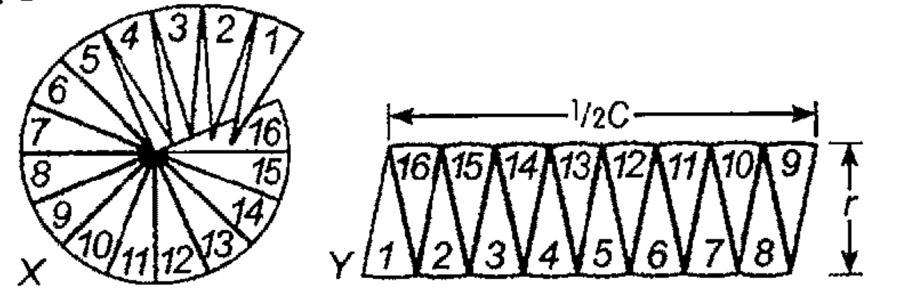
因为周长等于 $2\pi r$，周长的一半等于 πr，所以这个图形的面积等于 $\pi r\times r$，即 πr^2。这就是我们得出的圆面积公式：

$A=\pi r^2$

一个圆形花坛半径为 $10\frac{1}{2}$ 米。用 $3\frac{1}{7}$（即 $\frac{22}{7}$）代替 π，$10\frac{1}{2}$（即 $\frac{21}{2}$）代替 r，我们得出花坛面积如下：

$$A=\frac{\overset{11}{\cancel{22}}}{\underset{1}{\cancel{7}}}\times\frac{\overset{3}{\cancel{21}}}{\underset{1}{\cancel{2}}}\times\frac{21}{2}=\frac{693}{2}=346\frac{1}{2}(\text{平方米})$$

图 8



立体的度量

当我们度量一个物体，比如一只箱子或一块砖的体积时，我们将得知它有多少立方厘米、立方米。

长方体 如果一个立体的每个侧面都是矩形，这个立体就叫做长方体，或者叫做方棱柱。长方体有三维 长、宽和高。如果你愿意仔细观察图 9X，你会看到它有 6 个矩形面、12 条棱和 8 个隅角。

图 9

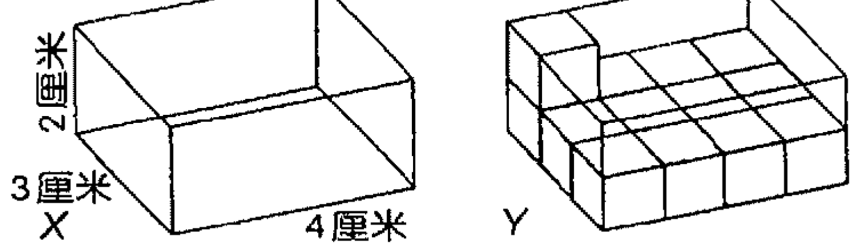


图 9Y 与图 9X 有同样的维数。它显示出图 9X 能够容纳两层边长为 1 厘米的立方体，每层的数量是 4×3，即 12 个。因而两层共有 4×3×2 个，即 24 个 1 立方厘米的立方体。这表明，计算长方体体积的公式是：

体积＝长×宽×高，即 $V=lwh$

对这个公式稍加分析，我们也会看出，长方体的体积等于底面积乘以高。

如果方棱柱三维都相等，那么它就是立方体。立方体的 6 个面个个都是正方形。我们用一维，即棱自乘三次方的办法求立方体的体积。设棱长为 e，我们有如下的立方体体积公式：

$V=e\times e\times e$，即 $V=e^3$

我们读 e^3 为“e 的立方”。

棱长 10 厘米的立方体的体积是 10^3，或 10×10×10，即 1 000 立方厘米。

利用立方体的体积公式，我们可以导出任何一个体积度量的单位。图 10 的底层有 10 排 1 分米的立方体，每排 10 个。每层有 100 个立方体，正如 1 平方米有 100 平方分米一样。10 层共有 10×100 立方分米，即 1 000 立方分米。

如果我们知道 1 码有 3 英尺，那么我们就很容易导出 1 立方码中的立方英尺数（3×3×3，或 3^3，即 27 立方英尺）。

长方体的总表面包括两个基面（顶面和底面）、两个侧面和两个端面。两基面的面积是 $2lw$；两侧面的面积是 $2lh$；两端面的面积则是 $2wh$。总面积按下面的公式计算：

$A=2lw+2lh+2wh$

图 10

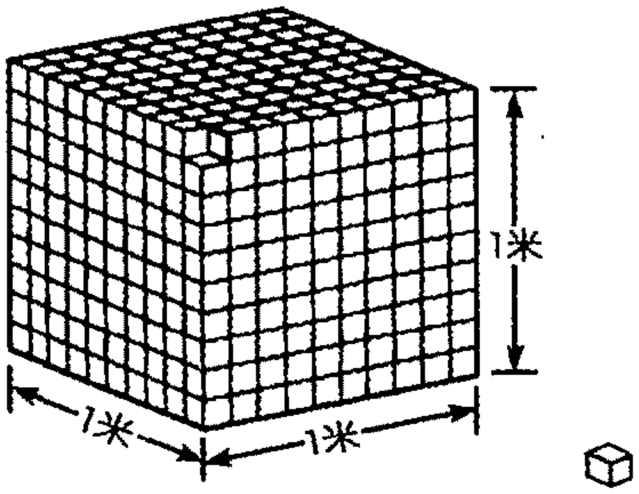


图 9X 的总面积是 2×4×3＋2×4×2＋2×3×2，即 24＋16＋12，为 52 平方厘米。

如果一个立方体棱长为 e，那么这个立方体的总表面按下式计算：

$A=6e^2$

圆柱 具有普通镀锡铁罐头或圆桶形状的立体是圆柱。圆柱的两个底的形状都是圆的。

我们知道长方体的体积等于底面积乘以高。圆柱的体积也等于底面积乘以高。如果底面半径是 r，底面积是 πr^2，那么圆柱的体积就按下述公式计算：

$V=\pi r^2 h$

图 11

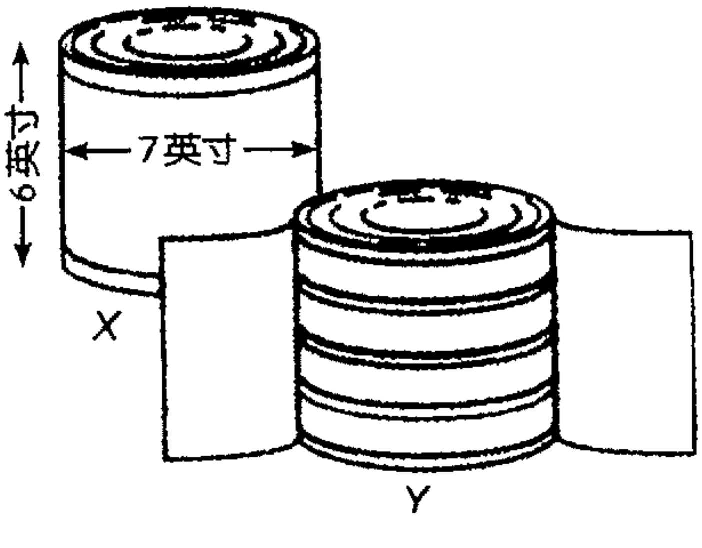


图 11X 表示一个直径为 17.78 厘米（7 英寸）、高 15.24 厘米（6 英寸）的罐。因为直径是 17.78 厘米，所以半径是

8.89 厘米($3\frac{1}{2}$英寸)。π 用它的近似值$\frac{22}{7}$。这个圆柱的体积按英制计算如下:

$$V=\frac{\overset{11}{\cancel{22}}}{\underset{1}{\cancel{7}}}\times\frac{\overset{1}{\cancel{7}}}{\underset{1}{\cancel{2}}}\times\frac{7}{\underset{1}{\cancel{2}}}\times\overset{3}{\cancel{6}}=231\text{(立方英寸)(1 加仑)}$$

其米制的数值为大约 3784 立方厘米,合 3.784 升。

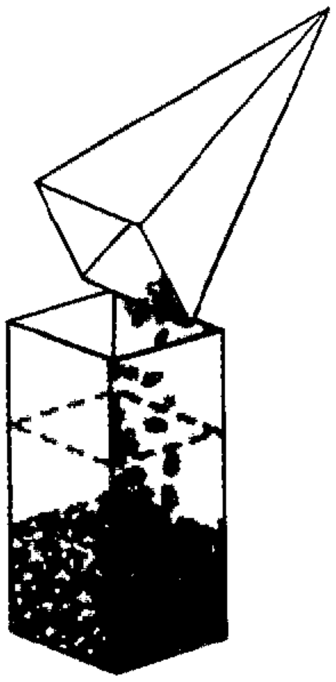
圆柱的表面包括弯曲的侧面和两个圆形的底。我们可以揭下镀锡铁罐头的纸条而得到它的侧面(图 11Y)。当纸条展开时,它的形状是矩形。矩形的长与圆的周长相同,即 $2\pi r$,宽与圆柱的高(h)相同。因而矩形面积为 $2\pi rh$。两底面的面积是 $2\pi r^2$。圆柱表面总面积按下述公式计算:

$A=2\pi r^2+2\pi rh$

棱锥 棱锥有一些倾斜的、汇聚到顶点的侧面。底可以是三角形、长方形、正方形或其他多边形。(多边形是个平面图形,有三条或多条直边。)

一个简单的实验表明,棱锥的体积是同底同高的棱柱体积的三分之一。图 12 显示沙子从一个正方棱锥倒进一个正方棱柱中。这个棱锥和棱柱有相同的底和高。当全部沙子倒入后,只充填棱柱总容积的三分之一。

图 12



方棱柱的体积公式是 $V=lwh$。方棱锥的体积公式则是:

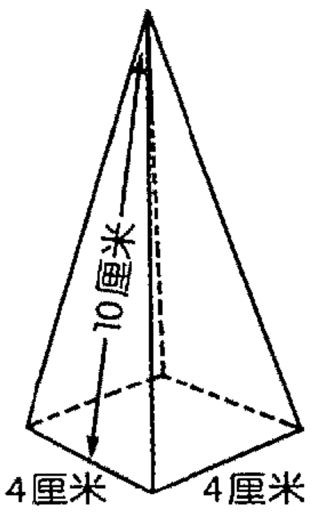
$V=\frac{1}{3}lwh$

式中:V 是体积,l 是底面的长,w 是底面的宽,h 则是方棱锥的高。

一个底面 6 厘米见方,高 8 厘米的棱锥的体积计算如下:$V=\frac{1}{3}\times6\times6\times8=96$ 立方厘米。

棱锥的侧面是一些三角形。这些侧面的全部称为凸面。如果这个棱锥是正四棱锥,那么它就有 4 个这种三角形。图 13 中棱锥的斜高是三角形侧面的高(10 厘米)。因为三角形的面积是底与高乘积的一半,所以这 4 个三角形的总面积是底边之和与高乘积的一半。图 13 中底边之和(底面周长)是 16 厘米。因而这个棱锥的侧面积计算如下:

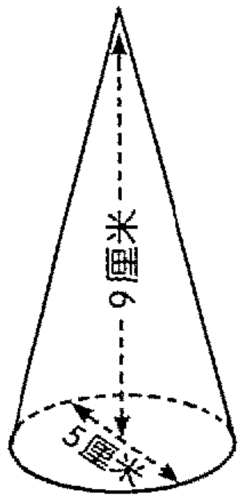
图 13



$A=\frac{1}{2}\times10\times16=80$ 平方厘米。棱锥表面的总面积是 80 平方厘米加上 16 平方厘米(底面面积),即 96 平方厘米。

圆锥 圆锥与棱锥的不同在于它的底是圆形的。图 14 所画的圆锥底面直径 5 厘米,高 9 厘米。圆锥的体积,与棱锥体积类似,也等于底面积(B)与高(h)乘积的三分之一,即:

图 14

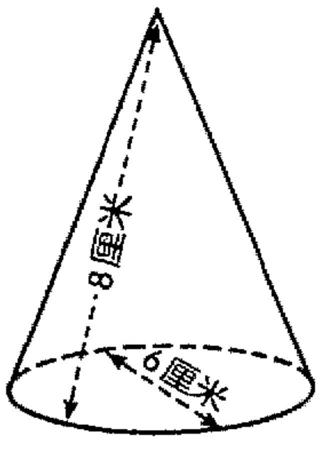


$V=\frac{1}{3}Bh$

底面积是半径 2.5 厘米的圆的面积。因而,这个圆锥的体积计算如下(取 π 为 3.14):$V=\frac{1}{3}\times3.14\times2.5\times2.5\times9=58.875$ 立方厘米。

求棱锥凸面积的公式使人联想到求圆锥凸面面积的方法。这个面积等于底面周长与斜高乘积的一半。图 15 中底面的周长是 3.14×6,即 18.84 厘米。于是,凸面的面积为$\frac{1}{2}\times8\times18.84$,即 75.36 平方厘米。当然,底面积是 $3.14\times3\times3$,即 28.26 平方厘米。因而,这个圆锥的表面总面积是 75.36 平方厘米加上 28.26 平方厘米,即 103.62 平方厘米。

图 15

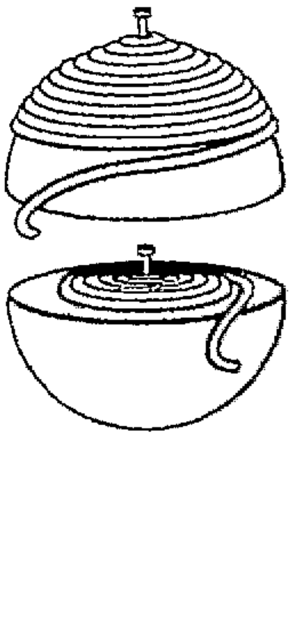


球体 图 16 画有一个切成两半的软木球。一个大头针钉在其中一半的平面的中心。另一半的曲面的中心也钉了大头针。度量缠绕这两个大头针的线圈,会发现一个有趣的事实。覆盖曲面需要的量恰好是覆盖平面的量的两倍。这表明,半球(整个球面的一半)的面积是具有同样半径的圆的两倍。我们知道,计算圆面积的公式是 $A=\pi r^2$。因而半球的表面积是 $2\pi r^2$,而计算整个球体的表面积的公式是:

$A=4\pi r^2$

我们可以想像球体由许多类似于棱锥的锥块组成,就像图 17显示的那样。我们知道,棱锥体积是 $V=\frac{1}{3}Bh$。在这种情况下,高都与球体的半径相同。因而每个"棱锥"的体积都是$\frac{1}{3}Br$。所有小块的底面的总和是球体的表面,即 $4\pi r^2$。以 $4\pi r^2$ 代换 B,我们就得到了球体体积的公式:

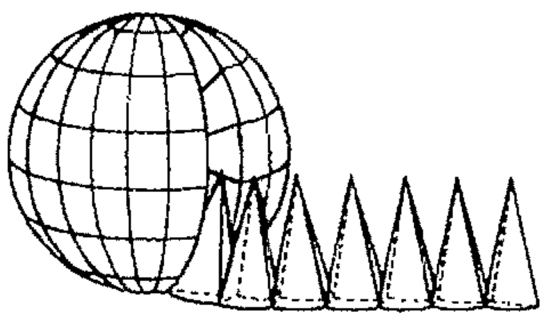
图 16



$V=\frac{1}{3}\times4\pi r^2\times r$,即 $V=\frac{4}{3}\pi r^3$

如果我们拿一个球跟一个直径和高都等于球直径的圆柱相比较,我们会发现,圆柱的体积是球体积的一倍半。

图 17



米制 METRIC SYSTEM 见:度量衡

度量衡 WEIGHTS AND MEASURES

最早的度量衡单位来源于人体和自然环境。例如,腕尺(库比特)被定义为人的肘部到中指指尖的距离。这个起源可能早至公元前 3000 年的单位,被埃及人校正得如此精确,以致他们能够在建造金字塔时用到它。

为了量度一个容器的体积或容积,常常用到种子或其他物品。例如克拉,一个仍然用来量度钻石的单位,大概就来源于角豆树种子。石块则曾是用于称量重量的通用物品。

许多应用遍及西方世界的度量衡单位最初发源于巴比伦和其他中东文明。通过贸易和其他交往,它们传到古希腊和罗马。罗马征服高卢和不列颠之后,这些单位逐渐流传到世界的其他地区。虽然亚洲人,特别是中国人,也发展了度量衡,但他们的单位制从未被亚洲以外的地方采用。

古罗马人的贡献

古罗马人对度量衡的发展做出过重要贡献。他们使用十二进制,把罗马尺和古磅各分为 12 个"安息亚"(unciae,"份",由此派生出英寸和盎司两个词)。英文磅的缩写 lb. 即来源于一个古罗马重量单位 libra(古磅)。古罗马人规定 5 尺为一步度或两梯级。测量较长的距离时,他们采用"mille passus"(罗马里),它等于 1 000 步度,或 5 000 罗马尺。

不过,或许比这些具体贡献更重要的是古罗马的度量标准化。古罗马法律要求帝国所有地方的人都使用罗马政府规定的同样的单位。

中世纪

古罗马帝国衰落以后,在中世纪的欧洲,度量衡发生了许多变化。在不同的地区、乡镇和行会,采用不同的标准,乃至不同的单位。这种缺乏一致性的例子在 16 世纪德国一篇关于测量术的论文所提供的确定一杆(rod 或 rood)长度的说明中就可以见到:"星期天站在教堂门口,当礼拜式结束时,叫住 16 个碰巧走过的人,有高的也有矮的,让他们把左脚逐一前后排列起来,这样得到的长度就将是一个正确的、合法的、用于测量土地的'杆'。它的十六分之一将是一个正确、合法的罗马尺。"

许多度量单位及其英文名称可以追溯到中世纪。英亩(acre)这个词来源于"原野"。浪(furlong)本来是"犁沟长度",即中世纪庄园分界线上一条犁开的土地的长度。"杆"起源于农夫为度量犁沟而使用的杆子的长度。码(源自 gierd,意思是"观察"或"测量")相当于一个人的手臂的长度。

在中世纪曾有过建立统一的度量衡标准的尝试。在吸引全欧洲大陆各地区商人的商品交易会上,需要有精确的标准。例如,重量的金衡制单位就起源于法国特鲁瓦举办的交易会。然而,在地方贸易中,商人们继续使用他们自己的度量衡。只是在英格兰,中世纪度量衡的标准化初获成功。

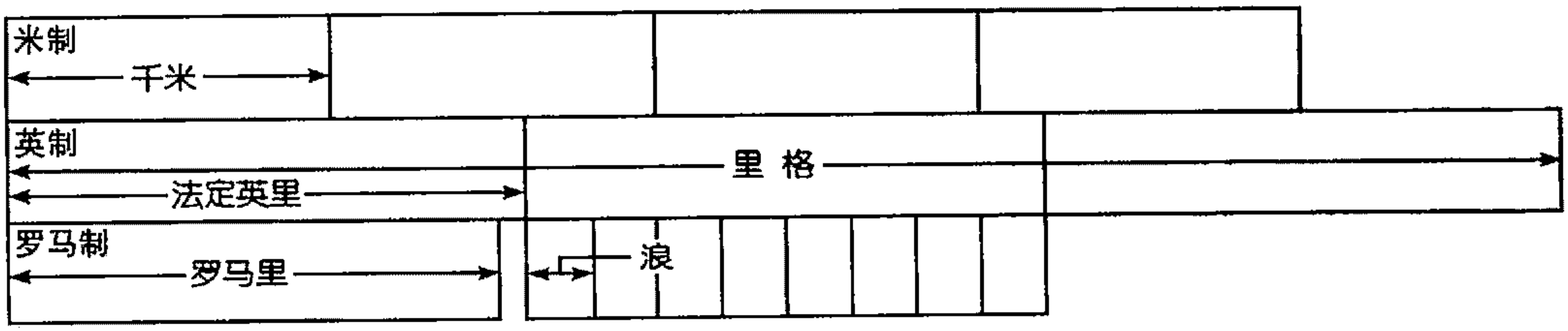
英制

为了纠正贸易中业已显露出来的弊端,M. 卡塔在 1215 年制订了量度谷物和酒类的标准。几年工夫,其他许多英制单位也标准化了。每当必须纠正歧异时,议会或君主就做进一步的调整。600 年后,1824 年这个度量衡单位制进行了第一次较大的修改。

由于大不列颠 17 世纪开始称雄于世界贸易,英国度量衡——通常称为不列颠皇家单位制——成了第一个世界性的单位制。此外,殖民地开拓者也将英国度量衡带到了其他大陆。可是因为英国继续修订他们的单位制,殖民地的度量衡便趋向于微小的不同了。例如,美国使用的蒲式耳就比英国 1824 年采用的新蒲式耳小。

度量衡的英制常常被称为"习惯"单位制,表明它来源于经过长时期发展形成的日常生活的习惯。现代用来代替英制度量衡的米制,是科学家创制的经过规划的单位制。

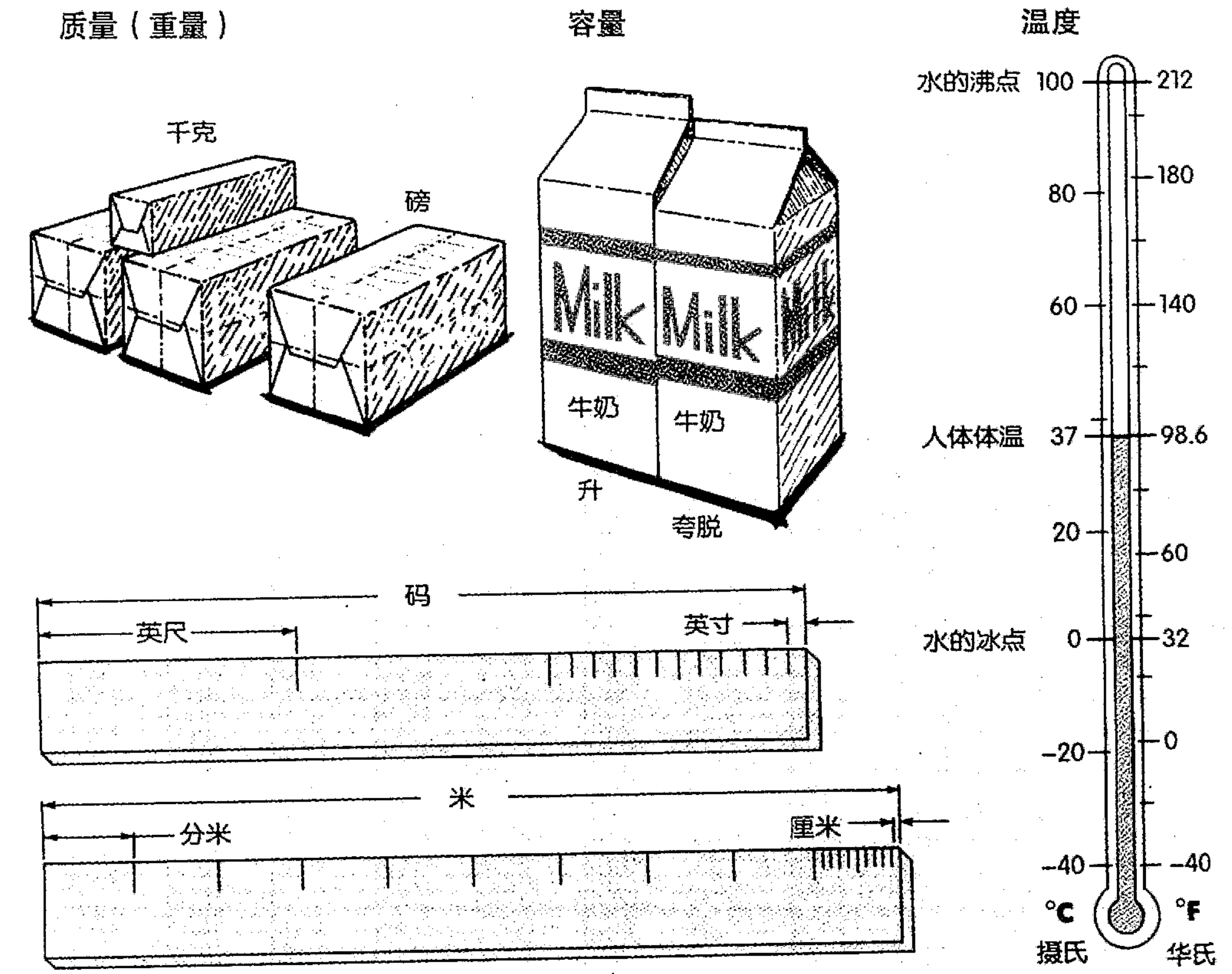
测量距离的三种单位制



米制

虽然米制所体现的某些思想早在 1670 年已被提出,但米制本身直到 18 世纪 90 年代才制订出来。法国大革命的领导者希望将他们国家混乱纷繁的度量衡统一起来,于是指示法国科学院制订一个新的单位制。科学院的报告获得

习惯单位制和国际单位制（SI）单位



了政府的批准，但这个新单位制直到 1840 年才成为法令。

按照科学院的设计，米制的基本单位是米（这个名称取自希腊文 metron，意思是"计量"）。米被确定为通过巴黎的子午线从北极到赤道长度的 $\frac{1}{10000000}$。其他单位，包括容积（体积）和质量（重量）等单位，都用米来确定。克被确定为 1 立方厘米水在其密度最大的温度（4℃）时的质量。立方分米通常叫做升，是容积单位。米制的建立以十进制为基础，用词头表示基本单位的倍数和分数。

法国大革命的政治号召力、拿破仑的征服和米制本身的实用性使它获得了普遍的应用。1875年米制大会在法国塞夫勒建立了国际度量衡局，负责保管标准原器并定期进行校正。到 20 世纪中叶，大多数国家都已采用了米制。

1960 年度量衡局采用了国际单位制（SI）。作为米制的发展，国际单位制根据物理过程来确定它的基本单位。例如，1983 年第 17 届国际计量大会规定米是光在真空中 $\frac{1}{299792458}$ 秒时间间隔内所经路径的长度。千克仍是惟一按照有形的原器或物体确定的基本单位。之后，国际单位制又做了些较小的修订和补充。

英美习用度量衡制

长度

1000 密耳 ＝1 英寸
12 英寸 ＝1 英尺
3 英尺 ＝1 码
$5\frac{1}{2}$ 码（$16\frac{1}{2}$ 英尺）＝1 杆
40 杆 ＝1 浪
8 浪（5 280 英尺）＝1 英里
3 英里 ＝1 里格

注意：英国和美国英里是 1 760 码（法定英里）。其他国家有所不同。

面积

144 平方英寸 =1 平方英尺
9 平方英尺 =1 平方码
$30\frac{1}{4}$ 平方码 =1 平方杆
160 平方杆 =1 英亩
640 英亩 =1 平方英里
36 平方英里 =1 区

水手计量单位

6 英尺 =1 英寻
120 英寻 =1 链
8.439 链 =1 海里
3 海里 =1 海里格
1.15 美国英里 =1 海里

注意：1 海里或 1 地理英里都是地球表面大圆弧的 1 弧分。1 节是 1 小时航行 1 海里的速度。

勘测员计量单位

7.92 英寸 =1 令
25 令 =1 杆
4 杆(66 英尺) =1 链
10 链 =1 浪
8 浪 =1 英里
1 平方英里 =1 分区

容积

1 728 立方英寸 =1 立方英尺
27 立方英尺 =1 立方码
128 立方英尺 =1 考得(木柴或石块)
231 立方英寸 =1 美国加仑
277.42 立方英寸 =1 英国标准加仑
2 150.4 立方英寸 =1 美国蒲式耳

美国容积(液量)

4 液量盎司 =1 吉耳
4 吉耳 =1 品脱
2 品脱 =1 夸脱
4 夸脱 =1 加仑
9 加仑 =1 费尔金
$32\frac{1}{2}$ 加仑 =1 桶
63 加仑 =1 豪格海

注意：在大多数州，1 加仑为 231 立方英寸。

美国容积(干量)

2 品脱 =1 夸脱
8 夸脱 =1 配克
4 配克 =1 蒲式耳
2 150.42 立方英寸 =1 蒲式耳

金衡制

3.086 格令 =1 克拉
24 格令 =1 本尼威特
20 本尼威特 =1 盎司
12 盎司 =1 磅

注意：1 金衡磅等于 0.8229 常衡磅。

常衡制

$437\frac{1}{2}$ 格令 =1 盎司
16 盎司 =1 磅
100 磅 =1 短担(英担)
2 000 磅 =1 短吨(美吨)
2 240 磅 =1 长吨(英吨)

注意：重为 14 磅的英石是个常用的英国重量单位，就像重为 112 磅的长担那样。

药衡制

20 格令 =1 英分
3 英分 =1 药衡打兰
8 药衡打兰 =1 药衡盎司
12 药衡盎司 =1 磅

计数

12 个 =1 打
13 个 =1 打(面包)
12 打 =1 罗
12 罗 =1 大罗
20 个 =1 斯科尔

角度计量

60 秒 =1 分
60 分 =1 度
360 度 =1 圆周

纸张计量

25 张 =1 刀
500 张(以前是 480 张) =1 令
2 令 =1 捆
4 捆 =1 箱

其他度量衡单位

1 个大气压 =14.7 磅/平方英寸
1 个大气压 =34 英尺水头
1 个大气压 =760 毫米汞柱
绝对零度 =-273.16℃
=-459.69℉
1 摄氏度 $=\frac{5}{9}$(华氏度数-32)

1 华氏度 $=\frac{9}{5}$ 摄氏度数+32
1 马力 =550 英尺·磅/秒
1 马力 =746 瓦特
=0.746 千瓦
1 千瓦 =1.34 马力
1 克拉 =200 毫克(宝石重)

1 英石 ＝14 磅
1 洛得 ＝1.9 立方码
1 点(铅字大小) ＝$\frac{1}{72}$ 英寸
＝0.01384 英寸
1 光年 ＝5.9×10^{12} 英里
1 纳尔 ＝$2\frac{1}{4}$ 英寸(布匹)
1 指 ＝$4\frac{1}{2}$ 英寸(布匹)
1 拃 ＝9 英寸(布匹)
1 爱尔 ＝45 英寸
1 掌 ＝4 英寸(量马匹)
1 腕尺(出于《圣经》的) ＝18 英寸
1 板英尺 ＝144 立方英寸
1 考得英尺 ＝16 立方英尺
1 考得 ＝8 考得英尺
1 步 ＝$2\frac{1}{2}$ 英尺

美国法定桶重

小麦、大麦、黑麦、面粉：196 磅
松香、焦油、沥青(稠厚的)：500 磅
腌鱼(净重)：200 磅
石灰(净重)：200 磅
水泥(4 袋)(净重)：376 磅

美国法定蒲式耳重

小麦、豆类、马铃薯:60 磅
黑麦、玉米、亚麻子、小麦裸麦混合物：56 磅
大麦、荞麦：48 磅
干洋葱头：50 磅
糙米：45 磅
燕麦：32 磅
生的带壳花生：22 磅

美国普通家用度量

3 茶匙 ＝1 大汤匙
1 大汤匙 ＝$\frac{1}{2}$ 液盎司
16 大汤匙 ＝1 杯
1 杯 ＝8 液量盎司
2 吉耳 ＝1 杯
1 杯 ＝$\frac{1}{2}$ 液品脱
1 杯砂糖 ＝$\frac{1}{2}$ 磅
1 杯面粉 ＝$\frac{1}{4}$ 磅
1 杯肉馅 ＝$\frac{1}{2}$ 磅
1 杯猪油 ＝$\frac{1}{2}$ 磅
1 杯大米 ＝$\frac{1}{2}$ 磅
1 杯葡萄干 ＝6 盎司
1 杯干面包屑 ＝2 盎司

国际单位制

基本单位

长度	米(m)
质量	千克(kg)
时间	秒(s)
电流	安培(A)
温度	开尔文(K)
物质的量	摩尔(mol)
发光强度	坎德拉(cd)

构成十进倍数和分数单位的词头

艾〔可萨〕＝ 10^{18}	分 ＝ 10^{-1}
拍〔它〕＝ 10^{15}	厘 ＝ 10^{-2}
太〔拉〕＝ 10^{12}	毫 ＝ 10^{-3}
吉〔咖〕＝ 10^{9}	微 ＝ 10^{-6}
兆 ＝ 10^{6}	纳〔诺〕＝ 10^{-9}
千 ＝ 10^{3}	皮〔可〕＝ 10^{-12}
百 ＝ 10^{2}	飞〔母托〕＝ 10^{-15}
十 ＝ 10^{1}	阿〔托〕＝ 10^{-18}

英制单位与国际单位的换算

长度单位:换为国际制

1 英寸 ＝2.54 厘米
1 英尺 ＝0.3048 米
1 英里 ＝1.6093 千米

长度单位:换自国际制

1 厘米 ＝0.3937 英寸
1 米 ＝3.2808 英尺
1 千米 ＝0.62137 英里

面积单位:换为国际制

1 平方英寸 ＝6.4516 平方厘米
1 平方英尺 ＝0.0929 平方米
1 英亩 ＝0.4047 公顷
1 平方英里 ＝2.5900 平方公里

面积单位:换自国际制

1 平方厘米 =0.1550003 平方英寸
1 平方米 =10.764 平方英尺
1 公顷 =2.471 英亩
1 平方千米 =0.3861 平方英里

体积单位:换为国际制

1 立方英寸 =16.387 立方厘米
1 立方英尺 =0.028317 立方米

体积单位:换自国际制

1 立方厘米 =0.061024 立方英寸
1 立方米 =35.31467 立方英尺

容积单位(液量):换为国际制

1 夸脱 =0.9463 升
1 加仑 =3.785 升

容积单位(液量):换自国际制

1 升 =1.0567 夸脱
1 升 =0.2642 加仑

容积单位(干量):换为国际制

1 夸脱 =1.101191 升
1 蒲式耳 =35.2381 升

容积单位(干量):换自国际制

1 升 =0.908 夸脱
1 升 =0.028378 蒲式耳

质量单位:换为国际制

1 常衡盎司 =28.3495 克
1 药衡或金衡盎司 =31.1035 克
1 药衡或金衡磅 =373.242 克
=0.37324 千克
1 常衡磅 =0.45359 千克
1 短吨 =0.9072 吨
1 长吨 =1.016 吨

质量单位:换自国际制

1 克 =0.035274 常衡盎司
1 克 =0.03215 药衡或金衡盎司
1 千克 =2.679 药衡或金衡磅
1 千克 =2.2046 常衡磅
1 吨 =1.102 短吨
1 吨 =0.9842 长吨

其他度量衡

世界上的大多数国家已经立法采用国际单位制。然而,在许多国家传统的度量衡仍在使用,特别是在乡土贸易中。古代希腊、罗马和几个特别选出的国家的传统单位列表如下:

古希腊

3 掌尺 =1 拃
2 拃 =1 腕尺
=18.22 英寸
4 腕尺 =1 英寻
400 腕尺 =1 视距尺
=607 英尺
1 塔兰特 =56.9 磅

古罗马

1 指 =0.73 英寸
1 罗马尺 =0.971 英尺
1 格莱德斯 =2.43 英尺
1 阿克特斯 =116.4 英尺
1 罗马里 =5 000 罗马尺
=4 847 英尺
1 古磅 =0.72 磅
1 安息亚 =420 格令
12 安息亚 =1 古磅
125 古磅 =1 塔兰特
1 贝斯 =0.48 磅
1 迪纳里厄斯 =60 格令
1 奥波勒斯 =8.77 格令
1 斯克鲁普勒姆 =17.53 格令

中国

1 斤 =10 两 $=1\frac{1}{3}$ 磅
1 担 =100 斤 $=133\frac{1}{3}$ 磅
1 斗 =2.74 美国加仑
1 里 =705 码

英格兰

1 法定蒲式耳 =1.032 美国蒲式耳
1 法定加仑 =1.2 美国加仑
1 百磅 =100 磅
1 英担 =100 或 112 磅

日本

1 日斤 =1.323 磅
1 贯 =8.27 磅
1 日寸 =1.193 英寸
1 日尺 =11.93 英寸
1 间 =5.96 英尺
1 日里 =2.44 英里
1 町 =2.45 英亩
1 石 =47.6 美国加仑

墨西哥

1 墨磅 =1.015 磅
1 厄罗伯 =26.367 磅
1 瓦拉 =32.99 英寸

俄罗斯

1 俄里 =3 500 英尺

=0.6629 英里	1 俄磅 =0.90 磅
1 俄顷 =2.7 英亩	**西班牙**
1 普特 =36.11 磅	1 西担 =101.4 磅
1 维德罗 =3.25 美国加仑	1 西磅 =1.014 磅
1 俄石 =5.96 蒲式耳	1 厄罗伯(酒) =4.3 美国加仑
1 沙绳 =6.9 英尺	1 厄罗伯(油) =3.32 美国加仑
1 阿尔申 =28 英寸	

数学 MATHEMATICS 数学常定义为研究数量、尺寸以及数间或符号间关系的一门学问。它包括的学科有算术、几何、代数、微积分、概率、统计和许多其他专门研究领域。

数学分成两个主要部分:纯粹的和应用的。纯粹数学只研究数学理论上有兴趣的课题。应用数学则为解决商业的、工程的专门课题或为了科学中的高深的理论应用提供工具和技巧。

数学已普及到全部现代生活。烤一个饼或造一所房子都涉及数字、几何、测度和空间的应用。设计精确的仪器,开发新的技术和计算机,都要使用更为专门的数学。

历史

数学最初起源于测度时间和计算的实际需要。因此,数学史是从数字起源、尺寸认识和空间与时间的性质等开始的。原始形式的计算的最早遗迹,在刻槽的骨头和有刻痕的木片和石片上出现。几何学的早期应用显示在古墓室的壁上和古陶器上。

古代

当文明从亚细亚和近东兴起时,数学领域就逐渐开拓。精致的数系和算术、几何学、代数学的基本知识都开始发展。

埃及和美索不达米亚 遗存下来的文字记录记载了从公元前 2000 年开始的最早的连续的数学活动。埃及的金字塔显示了早至公元前 2900 年的测量和几何学的知识。其后约 1 000 年的文件记录了埃及人所知道的数学知识。

当代关于古埃及数学知识的两个最著名的来源是莱因德莎草纸书和莫斯科莎草纸书。这些书提供了许多不同类别的数学问题。包括测量上的应用,款项的分配,简单的几何体(例如截去尖顶的金字塔)的表面积和体积的计算,以及一次和二次方程的解。

埃及算术以十进制为基础,比较简单。十进制是全球使用最广的进位制,它的创建可能有生物学的根源。两只手上的手指数促进了自然而然的十进记数法。数在英语中有时称为 digits,在拉丁文中意为手指。埃及的十进位制算术用不同象形文字代表个位、十位、百位、千位数,用了 10 的高次幂,使算术有可能计算高到数百万的数。和我们所熟悉的数制(既考虑数的值也考虑它所处的位置,如 23 和 32 是不同值的)不同,埃及算术不考虑位置,只是将符号代表的数相加。

与埃及人不同,古美索不达米亚的巴比伦人创造了灵活的技术表示分数。他们也创造了更精致的十进制算术,把他们的数学记录保存在黏土片上。巴比伦算术的最令人注目的特点,是它既使用六十进位制又加上十进记数制。即巴比伦人除去 10 以外也考虑关于 60 的各个组。至今,巴比伦算术仍用来计算时间——1 小时有 60 分钟,每分钟又分作 60 秒——而圆周被分割为 360°。

巴比伦人采用六十进制有明显的经济上的原由。他们的主要的重量和货币单位是米纳,1 米纳等于 60 谢克尔,而 1 塔伦特等于 60 米纳。六十进制用于商业和天文学。留存下来的黏土片显示了巴比伦人计算复杂问题如平方和平方根的技巧。

由于他们的六十进制在分数的计算和处理上特别灵活,巴比伦人在代数和数论上就特别强。黏土片上保存了一次、二次和一些三次方程的定解。尽管几何学知识是初步的,巴比伦人知道毕达哥拉斯直角三角形定理的许多特例。他们也知道三角形和梯形的准确的面积公式。因为他们使用了"3"这个 π 的粗略近似值,他们也得出圆面积的粗估值。

希腊和罗马 希腊人首次创造了数学精神。他们不仅关心数学的应用,也关心它的哲学意义,柏拉图特别欣赏这个方面。

希腊人开创了用数学公式证明命题正确性的思想。一些希腊人,如亚里士多德,从事逻辑的理论研究和正确推理的分析。先前的数学家都不研究实物的抽象或数学证明观念。

毕达哥拉斯提供了数学的第一个证明,并发现了不可公度的量或无理数。毕达哥拉斯定理将直角三角形的三条边和所对应的三个正方形联系起来了。希腊人发现无理数还有另一个根源:正方形对角线的长度不能够用有理数形式的 a/b 来表示,希腊的数系不适用于表示这些数。由于希腊人的数系的不完整性,他们在使用代数之外,又发展了几何学。古代对代数学作出系统贡献的是晚得多的丢番图。他创造了表示运算、未知数和常数的符号,被称为代数学之父。古代的科学知识经常是错的,从现代标准来看,其整体是不能令人满意的。然而,欧几里得、佩尔加的阿波罗尼奥斯以及阿基米德——三位古代的伟大数学家——的数学,至今仍和两千多年前一样正确(见:**阿波罗尼奥斯;阿基米德;欧几里得**)。欧几里得的《几何原本》使用逻辑和演绎推理设置平面和立体几何学中的公理、公设和一系列定理,并同样创设了比例理论,解决了无理数的困难。不计它的

缺点,《几何原本》仍是历史上遵循严格的演绎逻辑程序建立的普遍协调一致的知识体系的一个范例。阿波罗尼奥斯以他的研究圆锥曲线的著作出名,他创造了抛物线、双曲线和椭圆等术语。另一伟大人物是托勒密,他对三角学和数学天文学的发展做出了贡献。

罗马数学家和希腊数学家相反,以很实用著名。罗马精神不喜好希腊人如此钟情的数学的抽象方面。罗马人关心数学在测量和计算上的有用性。当罗马帝国的命运衰落后,其他地方对数学的兴趣却不断发展了,例如在印度和阿拉伯学者中。

中世纪

印度数学家在算术、计算方法、代数和三角学方面特别有技巧。阿耶波多计算 π 到很准确的值 3.1416,而婆罗摩笈多和婆什迦罗第二推进了不定方程的研究。虽然印度数学家不关心像无理数这类的理论问题,他们仍大大推进了代数学。他们的十进位制数系,包括了零,使计算特别容易。然而印度数学家对证明有点儿不感兴趣。他们的极大部分成果是为给定情况提供简单而有用的技巧,特别在天文学或占星术的计算中。

伊斯兰的最伟大的科学先知是花拉子米,他引入的"al-jabr"这个词,就演变为代数(algebra)。因此,大部分人所熟悉的数字仍称为阿拉伯数字。阿拉伯数学家翻译并注释了托勒密的天文学,这远在欧洲人注意到它之前。伊斯兰学者不仅将欧几里得、阿基米德、阿波罗尼奥斯和托勒密的著作译成阿拉伯文,还在希腊数学家已经完成的工作上,创造了他们自己的新成果。

临近 8 世纪末,伊斯兰的影响西传远达西班牙。就在那里,阿拉伯的、犹太的和西方的学者终于将希腊和伊斯兰的手抄本译成拉丁文。临近 13 世纪,欧洲作者的数学原著才开始出现。

文艺复兴时期

文艺复兴早期的大部分数学活动集中在意大利。数学家卢卡·帕西奥里编写了算术、代数、几何的标准教科书,为好多代学生服务。三次方程的解引起了意大利数学家费罗、塔尔塔利亚和卡尔达诺对优先权的大争论。在 16 世纪的代数进展中,用拉丁字母表示方程中的常数、变数和未知数是显著成就。这种符号代数以后被证明是使几何学、代数学和无限小量演算发展的关键。

17 世纪

在 17 世纪,数学从天文学问题中获得可观的促进力。例如天文学家开普勒发现行星轨道是个椭圆,他特别关心由曲线所包围区域的面积问题(见:**开普勒**)。开普勒和其他数学家用一种或另一种无限小量方法寻求这类面积问题的普遍解。和这类问题相关联,法国数学家费马研究极大值和极小值的性质。他也发现确定曲线的切线的方法,这个问题和由几乎同时的牛顿、同世纪稍后的莱布尼兹所创造的微积分密切相关。(见:**费马**;**莱布尼兹**;**牛顿**)

和发明微积分同等重要的是费马和笛卡儿彼此独立发现了解析几何(见:**笛卡儿**)。两人中,笛卡儿使用了较好的符号而且创造了优秀的技巧。最重要的是他指出如何通过解析几何的应用,顺利地求得联立方程的解。许多几何学问题能够直接转化成相对应的代数术语以求解。

在 17 世纪中,投影几何多少也发展了,如圆锥曲线用它们的投影来分析。直到 19 世纪,投影几何的价值并没有被充分认识。和碰运气取胜的游戏相关联的概率的研究也开始了。

这个世纪的最伟大的成就是发现用数学研究运动的方法。例子之一是 1638 年发表的伽利略对抛射体的抛物线路径的分析。在相同时间,荷兰数学家惠更斯发表了关于圆锥曲线和特殊曲线的著作。他也提供了有关落体的最快下降途径的理论。(见:**惠更斯**)

将数学应用于物理问题的最卓越的大师是牛顿,他使用解析几何、无穷级数和微积分完成众多的数学发现。牛顿也开创了他的"流数"和"流量"——微分和积分。他指出微商和积分这两个方法间的正逆关系(见:**牛顿**)。牛顿和莱布尼兹在同时研究类似的物理和数学问题。莱布尼兹于 1674 年完成他自己的发现,并于 1684 年发表了他的方法的相当模糊的叙述,比牛顿发表他自己方法的完整见解早几年。从微积分的发现而开展的一系列数学成就称为分析学。

虽然新生的微积分取得即时的成就,它的方法却受到尖锐的批评,因为无限小量有时像有限量那样处理,在另一时间好像它们是零。对微积分基础的疑惑直到 19 世纪才解决。

18 世纪

解析几何的发现和微积分的发明,使数学在 18 世纪中有可能应用于广大范围内的问题。瑞士的伯努利数学家族是将数学应用于物理学的先驱者。然而,他们并非是 18 世纪中推进微积分的惟一的一批研究者,在法国和英国也尝试扩大牛顿和莱布尼兹的研究范围。

18 世纪中,数学的最大进展出现在欧洲大陆,大陆上的君王如路易十四、腓特烈大帝、叶卡捷琳娜二世(大帝)提供了对科学的广泛支持,包括数学。18 世纪的最富于创造力的数学家是瑞士的欧拉(见:**欧拉**)。他发表了几百篇研究论文,他的主要著作涉及微积分、代数学、几何学、力学和变分学。

拉格朗日对力学、微积分基础、变分学、概率论、数论和方程论都有贡献(见:**拉格朗日**)。当一些法国数学家推进了分析学之后,其他数学家就转而研究几何学和概率论。法国天文学家拉普拉斯成功地将概率论和分析学用于牛顿的天体力学理论。因此,他能够确立太阳系的动力学稳定性。(见:**拉普拉斯**)

19 世纪

19 世纪中,日益专门化和代数及数论的新理论体现了数学的巨大变化。由于非欧几何学和超限集论等有争议的研究领域的发现,丰富了数学的全领域。非欧几何学显示在欧几里得平行公设不成立下仍能建立相容的几何学,引

起了有关数学基础的重大争论。

在德国，高斯发现二次互反律，证明了代数的基本原理，建立了复数理论。挪威数学家阿贝尔在19世纪中也使数学有很大进展，特别是他的积分理论、代数函数理论和导致阿贝尔函数的理论；以后，雅可比又推进了阿贝尔函数理论。（参见：**阿贝尔；高斯**）

德国数学家外尔斯特拉斯将分析学的元素约化为算术原理，并利用幂级数作为复函数的基础，把分析学提高到新的水平。另一德国数学家麦比乌斯研究解析几何并成为拓扑学的先驱。他发现了麦比乌斯带，即把矩形带的一端拧转180°后粘贴在另一端上所形成的拓扑空间。

在18世纪中，英国的数学家对欧洲大陆的数学进展关注较晚。1812年成立了分析学学会，推进法国已普遍使用的微积分符号和概念。哈密顿发现称为四元数的一种不可交换的代数和用于电磁学理论的其他数学形式。（见：**哈密顿**）

在美国，土生土长的数学家群体开始形成，特别在线性结合代数和逻辑领域。在法国，数学家对几何学、分析学特别是椭圆函数分析作出了重要贡献；在复变函数论、模函数、数论和不变量理论方面也有进展。柯西几乎对数学的每个分支都有成就，特别在实变函数论和复函数论方面。庞加莱对数学物理、自守函数、微分方程、拓扑学、概率论和数学基础都有重要贡献（见：**庞加莱**）。意大利在19世纪也倾向于加强几何学和分析学。

在19世纪中建立的两个相互关联的领域——集合论和数理逻辑，在20世纪中具有重大意义。它们和数学基础与实数连续统中的问题密切相关，后者是由戴德金和康托尔研究的（见：**康托尔**）。康托尔创造了集合论和超限数理论。

20世纪

20世纪数学呈高度专门化和抽象化。集合论的进展和无限集、超限数及纯逻辑悖论的发现，引起对数学基础的更大的关心。在纯粹的数学理论发展之外，高速电子计算机等设备也影响了数学的内容和教学。在20世纪发展的数学研究领域有抽象代数、非欧几何、抽象分析、数理逻辑和数学基础。

现代抽象代数包括对群、环、域（或译代数）、格和一大群从形式的抽象观点发展出来的其他课题的研究。这些探索形成了称为布尔巴基的一群数学家的研究基石。布尔巴基利用公理化结构的抽象代数发展了全部较高的数学的分支，包括集合论、代数和一般拓扑学。

在20世纪早期，当非欧几何学应用于数学物理时，它的重要性就被认识了。它在广义相对论中起了主要的作用，并引起了数学的本质和基础的哲学问题的争论。

另一个数学领域，抽象分析学，产生了抽象的和无限维的空间中的微商和积分。在抽象分析学的领域中有许多特殊兴趣的领域，包括泛函分析、调和分析、函数族、积分方程、发散和渐近级数、可和性和复变量函数的研究。在最近几年内，分析学已发展到引入非标准分析。由于无限小元素的发展，这个理论提供了取代微积分中传统的利用极限接近的方法。

由于两位英国逻辑学家和哲学家罗素和怀特海的研究，20世纪中在逻辑的领域内开始了最出色的发展。他们的三卷本著作《数学原理》(1910—1913)的宗旨在于宣示数学能够从很少数目的逻辑原理推演出来。在20世纪30年代，有关逻辑的相容性和公理系统的完备性问题激励了对数理逻辑的兴趣和对数学基础的关心。从20世纪40年代开始，数理逻辑加速专门化。

数学基础有许多学派。从19世纪到20世纪的转变期间，希尔伯特决定维护超限集理论的权威方法和无限大在数学中的应用，而不顾一些明显的悖论和众多的异议（见：**希尔伯特**）。他相信，即使涉及无限大，也有可能找到有穷数个方法建立数学命题真理。为此，希尔伯特投入可观的精力建立证明的数学理论。在20世纪30年代，他的计划实质上被取消了，因为哥德尔证明了，对任一普遍公理系统都有不能证明或否定的定理。（见：**哥德尔**）

希尔伯特的追随者被称为形式主义者，以抽象结构观点看待数学。建立公理就如建立任意性的规则。当应用于这理论的未加规定的元素时，这些元素可被用来建立定理的有效性，从而使数学的“真理”约化为逻辑的自我相容。和形式主义观点相反的那些人，被称为直觉主义者，他们相信数学的基本真理呈现为思想的基本直觉。最早的数学哲学通常归源于柏拉图。柏拉图主义者主张存在永恒真理，不取决于人的精神。在这个哲学中，数学的真理源自抽象的、理想的实在。

一些杰出的数学家

一些卓越的数学家不包含在下面，因为在本条目或在本百科全书的其他条目中已有介绍。

阿耶波多第一(476－550?)　印度天文学家和最早的印度数学家，他的著作和系统阐述对现代学者都有用。最早使用代数的学者之一。公元499年，他写完《阿耶波多文集》，总结了当时的数学。这本书主要介绍天文学和球面三角学，还介绍了33条算术、代数和平面三角学的规则。创制了正弦表，并对不定方程作了研究。

巴罗(1630－1677)　英国古典文学家、神学家和数学家、牛顿的数学教师。创造了一种确定切线的方法，很近似微分法。第一个认识到微积分学中积分法是微分法的逆运算。剑桥大学的希腊文教授(1660－1663)和数学教授(1663)。1664年任首届卢卡斯讲座教授，1669年辞去讲座职位并让给牛顿。他早期研究希腊数学，以翻译欧几里得的《几何原本》而著名。

伯努利家族　瑞士的数学家家族，将微积分应用于物理学的先驱者。雅各布(1654－1705)，1687年起任巴塞尔大学数学教授，他的概率论和变分学最为著名。他创造了伯努利数，利用这些数得出了指数级数。他还引入了积分这个词。他的弟弟约翰(1667－1748)，1705年起任巴塞尔大学数学教授，利用积分确定曲线的长度和所围的面积，对微分方程的理论、船帆数学和光学都有贡献。约翰的儿子丹尼尔(1700－1782)推进了微分方程的理论，特别是在流体动力学方面的应用和弦的振动。他任俄国圣彼得堡科学院的

数学教授(1734－1742),担任巴塞尔大学的解剖学、生物学、物理学然后是哲学教授,发现伯努利定理,并对概率论作出贡献。

婆什迦罗第二(1114－1185?)　印度数学家,写了第一部全面和系统地应用十进制数系的书。他是婆罗门笈多(598－665?)的嫡系传人,任乌贾因天文台台长,乌贾因天文台是古印度第一流的数学中心。促进了现代化的约定数学符号和二次方程求解,并求得更准确的 π 值。

柯西(1789－1857)　法国数学家。弹性力学、复变函数和代换群理论的奠基人。研究微积分中的极限和连续性概念,并对波的传播和光学做出了贡献。从 1813 年起任法兰西学院科学系和巴黎综合技术学校教授,1830 年因拒绝效忠于新国王路易·菲利浦,亡命国外。1838 年回到巴黎,再次在综合技术学校任教。

卡瓦列里(1598－1647)　意大利人,他在几何学上的成就是积分学的前驱,尤其是他的不可分法(1629),一种确定几何图形的数值的方法。1629 年任博洛尼亚大学的数学教授。在把对数作为计算工具引人意大利方面起了重大作用。

朱世杰(1280?－1303)　中国人,对方程理论有贡献。他的主要工作是求解四元方程组,显示了中国的代数在处理方程组和高达 14 次方程组等方面的发展高度。朱世杰通常用来解后一类方程的变换法,1819 年由英国数学家霍纳再次发现。

雅可比(1804－1851)　德国人,在不了解挪威数学家阿贝尔的工作情况下,独立地建立了椭圆函数理论,并对微分方程、动力学、行列式理论和量子力学也有贡献。他曾任柯尼斯堡大学(1827－1844)和柏林大学教授(1844－1851)。

花拉子米(780?－850?)　阿拉伯人,编成天文表集,并写了代数教程 *Kitab al-jabr wa al-muqabalah*;他创立了算法(算法这一名称由后人命名),并将阿拉伯数学和十进制计算方法介绍到西方世界。

勒让德(1752－1833)　法国人,他对椭圆积分的研究为数学物理提供了基本分析方法。对数论和最小二乘法也有贡献。他在巴黎军事学校任数学教授(1775－1780),在 1795 年他成为诺默尔学校教授。

莱奥纳尔多(比萨的)(1170?－1240 以后)　中世纪的意大利数学家。在北非随阿拉伯老师学习后,去埃及、叙利亚、希腊、西西里和普罗旺斯旅行,研究不同的记数制和计算方法。1202 年,他出版了 *Liber abaci*,将印度-阿拉伯数制介绍到欧洲。

刘徽(主要成就完成于公元 250? 年)　中国人,最重要的古代中国数学家之一。他的数学著作集对建筑师、工程师和测量师都有用。他提供了基本几何知识(包括毕达哥拉斯原理的中国说法)、三角学和代数学,并给出确定面积和体积的方法,解方程组和开方求根法。他确定的 π 值在古代是最准确的。

蒙日(1746－1818)　法国人,画法几何的创建者,推动解析几何发展,此后两者都成为射影几何的一部分,曾任教于梅济耶尔军事学校(1768－1783),后任卢夫尔的水力学教授(1780)。他在度量衡委员会任职并于 1791 年建立米制。协助建立综合技术学校。

罗贝瓦尔(1602－1675)　法国人,他对曲线几何学包括构成切线的方法和确定固体的表面积及体积等都有贡献。1632 年起直到逝世,他是法兰西学院的数学教授。他发明了罗贝瓦尔天平。

托里拆利(1608－1647)　意大利物理学家和数学家,他发明气压计(1643),并通过他在几何学方面的工作推进积分学的发展。他被伽利略的著作所吸引,写了一篇关于力学的论文,并接替伽利略当托斯卡纳大公爵的数学家和佛罗伦萨学院的教授(1642)。他对摆线(又称旋轮线,在地面上滚动的轮圈上一点所描绘的曲线)作了纯数学的分析。

韦达(1540－1603)　法国人,近代代数记号之父。他对方程理论有贡献。并创造了可能是西欧最早的计算平面或球面角的系统方法--使用全部 6 个三角函数。他也提供了二次、三次和四次方程的解法。

外尔斯特拉斯(1815－1897)　德国人,被尊称为现代分析学之父。近代函数论的奠基者之一。曾任中学数学教师 14 年,从 1857 年起在柏林的皇家综合工业学校任教。他所以从事函数论的研究,是由于他渴望完成由阿贝尔和雅可比开始的工作。此外,他还做了周期性函数、实变函数和椭圆函数的研究。

外尔(1885－1955)　德国人,他在数学方面的工作,为纯粹数学和理论物理架起了桥梁,特别在量子力学和相对论方面。1913－1930 年,他在苏黎世工业学院任教,是爱因斯坦的同事;1930－1933 年在格丁根大学;1933－1951 年在新泽西州普林斯顿高级研究所。他对微分几何学、连续群理论和数学哲学等都有贡献。

数学的分支

从数学发展的全过程来看,它日渐复杂化和多样化。同时它日渐一般化和抽象化。数学有以下几个主要分支:

算术

算术(arithmetic)源自希腊文 arithmos,字义就是“数”。它研究数的基本性质。它包括数字运算的方法,即加、减、乘、除和乘方、开方等基本运算。算术常用于分数、比、百分比和比例。

代数

代数常被描述为字母的算术。算术处理定数,代数引入了变数,它大大扩展了算术的普遍性和范围。中学中所教的代数学涉及解相对地较简单的方程的技巧。

近世代数或抽象代数是数学的更一般化的分支,它用任意的符号集(合)的运算来分析代数公理。抽象代数的专门领域包括群、环、域、矩阵代数和多种多样的非结合及非交换的代数的研究。集和矢量的专门的代数学以及布尔代数是从逻辑的研究中发展的(见:布尔)。代数用于复利的计算,解决距离-时间比问题或从一群已知的必要数据确定未知量的情况。

几何学

几何学的英语词汇 geometry，源自希腊，意为对地球的测量。虽然几何学起源于古埃及和巴比伦的实用目的，希腊人循着更系统和更广泛的途径研究它。

在 19 世纪，欧几里得几何学作为主要的几何学由于非欧几何学的发现而受到挑战。非欧几何学激起对几何学的新的处理，即把理论以公理来表述，这些公理应用于点和线等无定义的元素的性质上。这导致了新的几何学，包括椭圆、双曲和抛物几何学。现代的抽象几何学探讨空间、形状、尺寸和图形的其他性质的最一般的问题。例如，射影几何学是一门抽象几何学，它研究一个图形投射为另一图形时保持不变的几何性质，例如在数学透视中。

拓扑学研究图形经受连续的转换而不失去它的任一部分的个性时所保持不变的性质，它是对几何学非常有用的探讨。微分几何是用无限小的概念研究几何学。

解析几何和三角学

解析几何结合了代数的普遍性和几何的精确性。它有时称为笛卡儿几何学，笛卡儿是把代数方法用于几何学的第一个人。在解析几何中，用坐标系把任意曲线和一些变量相联系，从而将代数学观点引入几何学。例如在二维坐标系中，曲线上的任一点能够和一对坐标值(a，b)相联系。这曲线的普遍性质就能用它们的代数性质来研究了。

三角学研究三角形、各角、各边和它们之间的关系。三角学涉及三角函数的研究。1 个角和 6 个三角比相联系，即正弦、余弦、正切、余切、正割和余割。以已知的三角比为基础可确定三角形的未知角和未知边的值。因此它们特别有用。在古代，测量师和天文学家利用三角学获得重要的成就。

微积分

在 17 世纪中，牛顿和莱布尼兹使用无限小量确定曲线的切线，并方便地计算出曲线图形的边长和面积，还发现这些运算的相逆关系。牛顿称它们为“流数”和“流量”，和现在使用的微商、积分这两个词相对应。莱布尼兹称它们为“差分”和“和”。

在 19 世纪中，为了把微积分建立在严格的基础上，极限理论促进微积分的发展。一些数学家要把分析学——微分学和积分学——的结果建立在严格的算术方法上，从而使分析学更严格化。这需要精确的实数的连续性的定义。另一些数学家用很普遍的测度理论扩展分析学的作用。

分析学基本加强了函数、序列和级数的收敛性、连续性、可微性和有关实数的完备性的一些问题，微积分的入门课程一般包括对数和指数函数、三角函数和超越函数的研究。

复分析

复分析把分析学方法从实变数推广到复变数。复数最初从代数方程可以存在普遍解中产生。它们采用 $a+bi$ 的形式，式中 a 和 b 是实数。值 a 称为这个复数的实(数)部(分)，b 是复数的虚(数)部(分)，i 为 $\sqrt{-1}$，是虚数单位。因为复数有两个相互独立的分量 a 和 b，它们在两个变量必须同时处理时就特别有用。例如，已经证明它在流体动力学中的应用特别有价值，因为流体中的压强和速度处处不同。19 世纪中，数学家给复数以几何解释，使它更易于接受。

数论

有这样的说法，100 多年来未解决的数学问题，至今仍吸引人考虑的，就在数论中。数学的这个分支涉及数的性质和各种数系的结构的研究。它研究整数，即完整的数。数论中的许多问题和素数有关。素数是比 1 大的整数，而且它们的因数只有它们自已和 1。

数论的领域包括以下的问题：最大公因数，最小公倍数，分解到素数和自然数以某种形式例如可除性表示。计算机现已用来解答某些数论问题。

概率论和统计学

分析随机现象的数学分支称为概率论。一个随机事件可能的全部后果组成的集合，称为样本空间。在这个空间中的每个结果都被赋予一个概率，即表示在单个事例中出现这个特定结果的可能性的一个数字。随机实验的例子是抛硬币，样本空间由两个结果组成，币的正面或反面朝上，而赋予每个结果的概率为二分之一。

统计学将概率论用于实际情况并涉及经验数据的分析。统计学(statistics)这个词反映了最初将数学方法应用于为政府(state)的意图所收集的数据。这类研究导致了通用的下述手法：分析数据并计算多种数值，画出相互关系，使用抽样、计数、估计并按一定标准排列数据。

集合论

19 世纪中由德国数学家康托尔创造的理论，它原来为了提供对无穷大的数学分析手段。集合论处理个体的定义良好的集合体的性质。集合可以是有限的或无限的。有限集有一定数目的元(素)，例如一个集可由从 1 到 1 000 的全部整数组成。一个无限集有无穷个数目的元(素)。例如全部正整数组成一个无限集。

康托尔创建了无限数的理论和与它一起前进的超限算术。他的“连续统假设”推测全部实数集是第二个最小的无限集。最小的无限集是由整数组成的集或和它等价的任意集。

在 20 世纪初，集合论的关于无限集、超限数和纯逻辑悖论的一些矛盾，引起了将集合论公理化以消除这类困难。当哥德尔证明，对任意公理系统都能提出既非真又非假的命题，数学的传统的必然性，似乎已经突然消失了。

在 20 世纪 60 年代，科恩成功地证明了“连续统假设”的独立性，也就是在集合论的一个给定的公理化系统内，这个假设既不能证明成立，也不能证明不成立。这意味着有可能构思一个非康托尔集合论，在那个理论中“连续统假设”可以不成立，很像在非欧几何学中无庸假定欧几里得的平行假设必须成立。

逻辑

逻辑研究从给定的前提得出正确结论的途径。亚里士多德第一个系统地探讨逻辑,此后发展了逻辑代数概念。符号逻辑是从传统逻辑中发展起来的,它用符号代替命题和命题之间的联系。现代逻辑学家用代数方法和形式方法研究逻辑命题间的关系。这已经导致了模型理论和模型逻辑。

算术 ARITHMETIC

计算数的科学,是所有其他数学分支的基础。不能运用数,就无法测量距离或计算时间。人们就无法算出驾驶汽车时每公里要费多少升汽油;也不能判断身高,或一建筑物的高度;在购物时,也无法计算找回的钱是否对。若无算术,简直就不能做一切有关数的简单运算;算术是一门最有用的科学。

算术也是一门最基础的科学。其中有6种运算数的基本法则:加法、减法、乘法、除法、乘方(自乘)和开方(求方根)。

其他的所有数学分支中,都要用到这些运算;若无算术,就不会有几何学、代数学和微积分。因本文并非一算术教材,因而只重点介绍算术的运算。

算术的起源

一一对应 算术一词,来源这个词的希腊文 arithmos,但在希腊人发明该词之前,甚至在任何人发明数以前,人们早就开始运用算术了。历史学家认为:早在1万多年前,史前人开始耕种时,他们就已开始用算术了。他们要知道的例如:他们拥有多少头羊,或要播撒多少行谷种子,或要等多久才到收割季节。

据历史学者说,史前时期的农夫,设计了一种巧妙的方法来记事;用的是一种数学家称之为一一对应的匹配或配对的方法。例如,一牧羊人早上放出羊群到草地去吃草,他每放出1只羊,便投下1块石子,逐渐成堆;或每放出1只则用刀在树枝上划1道,以此来记住放出的羊数。从归来的羊数和他投放的石子数,或在树枝上划的道数是否一一对应,便可知羊是否全都回来了。

将石子或划道与物体配对的办法,是算术发展的最先的一步。事实上,人们在描述算术操作所作的"计算"(calculating)和"相符合"(tallying)两词,就源自"石子"与"槽口"的拉丁词 calculus 与 taleus。一一对应的原则仍是最基本的算术过程,它简单得连年纪很小的孩子都会用。孩子们在懂得计数前,往往就会在把刀叉摆在餐桌上时这样做:一把给妈妈,一把给爸爸,一把给哥哥,一把给姐姐,最后一把留给自己,就这样地摆对刀叉数。

计数 从一一对应到计数之间只差了一小步,后者是用数名来和对象配对。计数是接着一一对应之后的最简单的算术运算。几千年前,最早的数学家们或许已学会像现在小孩们那样用手指计数。当一小孩需要显示家中有多少成员时,他可为每一成员伸出一手指来表示。他一个接着一个地伸出手指,并念出专用的数名"一、二、三、四"来计数。

书写中用的(0、1、2、3、4、5、6、7、8、9)10个数字,英文称 digits,这与拉丁文的手指是 digitus 决非偶然的巧合。人们发明的数名是从计数而来的。在不少的现代语言中,其中包括英语在内,都用以10为底的进位制——即只有头10个单独的数有名称,这相应于计数时用的10个手指。10以上,这些数名便一而再地重复出现。例如,英语中的11(eleven)是从古英语的 endleofan 而来,意思是"多出了1个"。12(twelve)是从旧词 twelf 而来,意思是"还剩下了2"。13(thirteen)显然是说"3加上10",而20(twenty)则是从旧英语词 twentizh 而来,是"两个10"的意思。

计数所用的数——1、2、3、4等等——形成一类特别的数,而有几种不同的名称。常称为:基数,整数,或正整数(整数 integers,从拉丁文 integer 而来,是"完整"的意思)。人们用这些数来数完整之物,如:一个完整的苹果,两个整天,或三个完整的词。还称为自然数,因它们是人类最先遇到的一种数,并且是自那以后很长一段时间里任何人都用的惟一的一种数。

所有算术的规律,都是基于这种整数的计数法。当人们学会用加、减、乘、除、乘方和开方时,他们是对整数来进行计算的。其他种类的数,如分数、负整数和零,则是很久以后才引入的,那时人们认识到:必须有其他种类的新数,才能完成全部的算术运算。

算术运算

算术是作为帮助人们解决数或量的实际问题的一种工具而产生和发展起来的。由于要解决的数量问题有多种,人们就得发展多种数的运算法则。在算术中,"运算"一词是指:将两个数相结合,而由之得出第三(个)数。例如,加法可以解决一个农民若再买10头牛,则他共有多少头牛的问题。减法可以解决一家若今天午饭吃了5个土豆,则明天还剩多少个土豆的问题。用乘法,一个樵夫就知道若他每小时能砍伐2棵树,则每天就能砍多少树了。而除法则可使一位母亲知道:篮子中的12只苹果到底怎样分,才能使她的6个孩子每人分得一样多。

用算术来解决诸如此类的实际问题时,便称之为实用或应用算术。

不过,数学家发现:在算术发展的早期,人们就已能超脱具体物,而处理纯数。用算术能解决像 $14+25=39$ 这样的抽象问题。通过研究抽象的问题或者纯算术问题,数学家分离出来了一些支配算术运算的规则。本文的下几节对构成算术的几个不同的算术运算,作一提纲挈领式的介绍;并对其发展、使用和如何工作及支配它们的规律,作些说明。

加法 将两个或两个以上的数相结合,而找出合在一起的总量的运算过程,称为加法。由于加法和计数是如此紧密相关,也许这就是人类最先发现的算术运算。设想几千年前的一个农夫,他发现了一群野山羊。如果他要想把这群山羊归入他已有的牲畜中,他大概想知道他现在总共有多少只山羊了。

他得出这数的一种方法,就是对此来计数。如果从4

只山羊数起而后发现又多了 5 只，他就从头数起，而很快就知道它们等于 9 了。如果农夫经常这样做并且知道总是等于 9 头后，便不必再去计数了。他就可简单地把 4 和 5 加起来，立刻便会知道答数是 9 了。

至此，这农夫便懂得加法了。在小学中，儿童在学加法时，常常背住这种 81 条的加法实例：

1+1=2，1+2=3，1+3=4，如此下去直到 9+9=18。

可是没人能记住每个可能的加法问题的答案，其中有的太复杂了。例如，我们不容易一眼就看出 87 和 45 的和是多少，因为去对物数数过于费事。古代对加法问题，并无简便的写算方法。虽然早在 5 000 年前人们就开始记写数了，但用来计算则太笨。87 加 45，在罗马数字中就是把 LXXXVII 和 XLV 相加。在罗马时代，只有专职的文书，才能执行这种高难的技艺。罗马和希腊的记数法，是用字母来代表数的。字母对记载有用，但不便用于加法。

在古代不少的民族中，使用的是一种叫做算盘的简单的机械计算装置。这种也许是巴比伦人发明的近代加法器的祖先，从远在东方的中国到西方的罗马几乎全部的古代社会都曾广泛使用。

算盘上每一竖直行中有能容放许多小石子(即算珠)的空间。在最右行中的算珠代表单位或个位。下一(左边)行则代表十位，再下一行代表百位，如此继续下去。

在算盘上将 87 和 45 相加，是简便的。先把代表 87 的各个算珠，放到相当的行中。(这数称作被加数，是“假定要增加上去”的意思。)然后把代表 45 的算珠加到上面去(这要加上去的数称为“加数”)。合起来的总数或其和，则常要用重新编组的办法加以缩简。任一行中的十个算珠，可用紧靠其左的一行中的一个算珠所替代。这种替代称为“进位”。

约在公元 700 年，印度的北印度(兴都斯坦)人发明了一种记数法，使写成数字的相加和在算盘中相加一样容易。不久，阿拉伯人就采用了这种数制，而在 1202 年，这一发现经意大利数学家 L. 斐波那契之手，传到欧洲。这种新数制称为阿拉伯数码，它把加法和其他运算简写得如此动人，实在找不到更好的了，因而沿用至今。

阿拉伯数码为何这样好用呢？回答是：它是算盘的翻版。像算盘一样，阿拉伯数制是十进位制；就是说，它是按十来分组进位的。印度人首次发明了 9 个不同的数字符号，这相对应于算盘每行中所用的算珠数。所用的符号随年代而不断变形，但随着 15 世纪印刷术的发明，这些符号便定型化成 1、2、3、4、5、6、7、8 和 9 了。

阿拉伯数制可用这 9 个符号来表示很大的数，这是由于它是进位的；每数字所处的位数决定了它的值。像算盘中一样，阿拉伯数制中的一个 9 在个位的行中代表 9，在十位的行中就代表 90，而在百位的行中则代表 900。

最后，印度人得要发明一个新符号来代表算盘中的空行。零的概念与符号(0)现在视为理所当然；但直到公元 700 年左右在印度人发明它之前，没有哪个数制用简单的书写法，能把 17、107 和 1 070等数区分开来。因此，0 的发现是算术史的一次革命。

作加法时，人们用阿拉伯数码表示要相加的数。把数加起来的方法和算盘中的算珠相加差不多一样，人们就像真正一个个地计数般地，得到相同的答数。

在数相加的过程中，数学家发现其中有两条基本规律。第一，数相加的顺序对其和无影响：

3+6=9　和　6+3=9

7+3+6=16　和　6+7+3=16

数学家把这一特性，称为加法的交换律，即诸加数可以交换及改变地位，但不影响其总值。为表明这条定律对所有加法问题都对，数学家就不用数字而用字母来表成：

$$a+b=b-a$$

数学家发现的另一个加法的基本特性是：当两个以上的数相加时，结果与数相加的前后顺序无关。1+2+3 可用不同的顺序相加，而仍得相同的结果。为表明那些数先合在一起，数学家就用括号来把它们括起来：

因此，1+(2+3)=1+5=6

和　(1+2)+3=3+3=6

数学家之所谓加法的结合律，就是针对此性质而言的，它指明数可按不同的顺序来结合。此律可表示成：

$$(a+b)+c=a+(b+c)$$

长期从事算术的人不明白为何要强调这些规律。因为 1+2=2+1 和(1+2)+3=1+(2+3)是显然的。但不是每一个加法过程都是遵从交换律和结合律的。例如在化学中，化合物不同的加入顺序会造成许多不同的结果。如果将(浓)硫酸倒入水中(水+硫酸)，结果产生了稀硫酸。但要是水倒入(浓)硫酸中(硫酸+水)，结果会产生爆炸。只有在算术中，加法的交换律和结合律才恒成立。

这些规律之所以值得考虑，还在于帮助弄清为什么我们可以采纳常用的加法演算。例如，帮助我们弄清数是怎样换成简化加法的：20+6+90 可依交换律而化为 20+90+6。由结合律，可将 20+90 先结合起来，因此(20+90)+6=110+6=116。

由这两条规律，还可说明列加法的道理。当 41+15+72 相加，看来是这样相加的：

$$\begin{array}{r} 41 \\ 15 \\ +72 \\ \hline 128 \end{array}$$

在这些数的相加中，实际做的是先把个位数合成一组而加起来；然后再把十位数合成一组加起来。换言之，是把 41+15+72 拆成(40+1)+(10+5)+(70+2)。这些数经按结合律而重新分组为：

(40+10+70)+(1+5+2)=120+8=128

减法　尽管不少人随便地把减法看成是另一种单独的算术运算，但并非如此。减法正好就是加法的逆运算。

像用加法一样，原始人多半还要用减法去解一些基本问题。如果一个史前的农民采集到一堆苹果共 14 个，用了 10 个为他家的 10 口人食用而剩下 4 个，他就需要知道供家庭食用后还剩下几个。或者是，他只采集到 4 个苹果，于是他便想知道：他还要采集多少个，才能使家中每口人均得食。

减法同时回答了两个问题。当取走了一些物品后，减法回答了还剩下了多少物品的问题；而要将两个量相比，则减法回答了还要多少方能使两者相等，或两者之差为多大的问题。

减法也能像加法那样用计数来做。采果人可先伸出 4 个手指，然后再数其他手指，看还要多少才够 10。一旦他记住了 10－4 总等于 6，他就学到了一减法实例。如果他牢记 81 个这种减法实例，就对他日常生活中绝大多数的减法问题有了答案。然而当人们开始面临更复杂的减法问题时，他们就需要有比计数法与记忆法更为实用的减法规则。

在古代，最复杂的减法大概都是用算盘去算的。如一算盘上的算珠正好为 7 438，要减去 5 236 便可很容易地把千位行上减去 5 个算珠，百位行上减去 2 个，十位行上减去 3 个，个位行上减去 6 个就行了。

用阿拉伯数码来作减法的步骤，几乎和用算盘一样。7 214减去 5 236 可写成：

7000 和 200 和 10 和 4

减去 5000 和 200 和 30 和 6

由于不能从 4 减去 6，或从 10 减去 30，因此要用借位数；上一行的数必须重新编组与书写。经重新组合，问题便成了这样：

	6 000 和	1 100 和	100 和	14
减去	5 000 和	200 和	30 和	6
	1 000 和	900 和	70 和	8或 1 978

借位与重新组合的方法帮助人们解决一些困难的减法。但要解决另外的一些更复杂的减法题，就更困难了。例如，能从 4 减去 5 吗？在古代，有些数学家宣称这是做不到的，因为 4－5 比“无”还要少。直到 16 世纪，意大利数学家 G. 卡尔达诺才首次开始用比零还小的数。他利用了比他早 3 个世纪的 L. 斐波那契就认识到的：一个量可以小于零 ——例如欠债。若某人手头只有 6 元钱而要偿还 9 元钱的债，他就仍负 3 元钱债。在减法中，这个问题可写做 6－9＝－3。由于相减是用负号(－)来表示的，所以凡比零小的数也都标上负号。

早期的数学家认识到比零小的数的用处，但并不乐于使用。他们将这种数取名为贬义的“负”(negative)字，在拉丁文中是“否定”的意思。对负数倒有两个较合适的词，就是加的逆和加的反面。这两个词表示：所有负数都要加上大小相等但相反的正量，才能使之为零。5 元钱的债需付出 5 元，才能偿清。温度为－5℃的空气要提高 5℃后，才能使其温度达到零度。换言之，－5＋5＝0 和 5－5＝0 完全一样。负数的这种观点，提供了另一种理解负数之法——减去任一个数和加上它的反号数一样：

$$a-b=a+(-b)$$

乘法 当人们学会相加时，就已发展了一种节省时间的办法。而加法正是计数的一种捷径。但就是加法，也往往很费时间，特别是同一数的一次又一次的相加。于是，需要重复相加的情况，在古代就已发生了。例如，一养羊人要用 16 头羊去换麦子：要是 1 头羊值 1 020 升麦子，则他必须把 16 个1 020加起来，才能算出价钱。因此，古代的数学家就发展了乘法，来简化重复的相加问题。

最早的一种乘法称为二倍或双倍法。该牧羊人将 16 个1 020相加时，大概是先从1 020＋1 020得到2 040；不过也许他已认识到 8 个2 040同 16 个1 020的和是一样的。也许由此得到鼓舞，而再进一步做2 040＋2 040＝4 080的加法。那么，8 个2 040是否可以用 4 个4 080来代替呢？可以，而 4 个4 080又可以为 2 个8 160所代替，而得到的和是16 320。于是，整个问题就用 4 次双数相加来取代 16 个数的重复相加——大大节省了时间。

现在所用的乘法比(以上的)双倍法更快，它是一种机械式的运算法，只要学会两个个位数的一次相乘，便可用来算大数之和了。为了计算快，只需熟记从 1×1＝1 到 9×9＝81 的两个个位数的乘积即可。这叫做相乘实例或乘法表。符号“×”读作“乘”，而 9×9 其实就是把 9 连加 9 次的意思。此问题的答案 81 则称为其乘积。对乘法要记住的另一事实就是：任何数乘以零则(恒)等于零。这事实之所以有意义，是因为 3×0 其实就是把 0 加了 3 次，结果自然是零。

算术教材中，透彻地教了乘法。可有不少人不知道乘法的原则背景——乘法是如何行使的。可用 29×26 为例说明这种乘法的原理。按标准乘法，本题的做法如下：

```
   26
 × 29
  234
  52
  754
```

不难看出，要将两数相乘，实际上就是把它们都拆成其位数组分：

```
   20 和 6
 × 20 和 9
```

头一行中的每一组分，分别与底行的每一组分相乘；做完这些之后，再将所有的这些答案(叫作部分乘积)加起来。

```
   20 和 6
 × 20 和 9
       54
      180
      120
      400
      754
```

这种乘法之所以能行，是由于乘法的分配性。换言之，当去乘数的和时，所有的乘法都是均匀分布的。和中的每一个加数，都乘以另一和数中的每一个加数。举例说明如下：5×5 的乘积是 25，它可以拆成两个和的乘积(2＋3)×(4＋1)。根据分配律，其和是按下法来相乘。

$$(2+3)\times(4+1)=$$

$$(2\times4)+(2\times1)+(3\times4)+(3\times1)=$$

$$8+2+12+3=25$$

数学家则将分配律，表示如下：

$$a(b+c)=(ab)+(ac)$$

由于乘法是加法的简捷形式，所以它和加法一样，也都有另外两个基本特性。乘法同时遵从交换律和结合律。根据乘法的交换律，$ab=ba$，表明相乘的顺序决不影响结果：

4×5＝20 和 5×4＝20。根据结合律 $(ab)c=a(bc)$，即当两个以上的数相乘时，乘的顺序无论如何，都不会有何区别：

$$8\times(2\times9)=8\times18=144$$

$$\text{和}(8\times2)\times9=16\times9=144$$

除法 乘法是把数合起来而得到其和，而除法则是把数分离成相等的部分。除法和乘法相反——乘是加的捷径，而除则是减的捷径。

学除法的一个难点就是：懂得它实际上是一个逆的计算过程。要懂得真正的除法，必须先会将乘法反过来用。"18÷3 是多少"的问题和问"何数乘 3 得 18"是一样的。由乘法表得其答数为 6。

有些例子可完全无误地说明，除法是怎样与乘法和减法相关联的。除法可用来解决如何将 12 个苹果分为 3 份的问题。这个问题要求将乘法作一种倒算：3×？个苹果＝12 个苹果，由乘法表可知其答数为 4。

还可以用除法来解决另一种问题：要将原盛满 12 升的一容器中的牛奶分别倒入容量为 3 升的罐子中，问能装满多少个 3 升的罐子？这问题可用合适的罐子来完成。将牛奶从盛 12 升的罐中倒出，可以先倒满一 3 升的罐，接着倒满第 2 罐，再倒满第 3 第 4 罐。其实，这问题是在做一连串的减法——减去 3 升的牛奶 4 次。

上两题都提出了"要多少次 3 才到 12?"的问题，而两题都写做 12÷3＝4（12 除以 3 等于 4）。在除号左边的数 12 叫做被除数；除号（紧）右边的数 3 叫除数；问题的答数 4 则称之为商（quotient），来源于拉丁字的多少倍的意思。

常用来解复杂问题的除法叫连除法，它是一种机械式的消乘法。连除法重复一连串的乘-减试猜，直到解完为止，如下例所示。

```
       21487
  12)257844
     24
      17
      12
       58
       48
       104
        96
         84
         84
          0
```

解这个问题要：(1)去猜"何数乘上 12 等于 25?"；(2)将其答数 2 乘以 12；和(3)从 25 减其答数 24。再将下一位搬下来，如此循环，直到整个问题消乘完毕，最后的减法得零为止。

大多数问题的结果，并不都简洁地以零告终。如 175÷2 时将会如何？并无一整数乘上 2 会得 175。最接近的整数是 87，2 乘 87 是 174，而余数是 1。对数学家而言，回避这类问题是不切实际的，因为给出的数并非总是偶数。往往有必要将这些数加以均分。

如一父亲一定要把他的 175 亩地平分给他的两个孩子，他就会分给他们每人 87 亩再加上剩下的一亩的一半。对结果不是整数的除法问题，数学家就得发展一种代表单位整数的一部分的数：分数。

在古代，人们就已使用分数了。公元前 1700 年写的一部埃及数学文献——莱因德莎草纸书中，就用了分数，其中分子（顶数）总为 1：$\frac{1}{4}$、$\frac{1}{2}$ 等等。这就不难得知：何以分数与整数几乎同时被人发现。人们一旦发现需要数物时，就开始使用整数，他们就是用整数来数一些彼此分开的个体。

不仅是计数，测量也要用到数。人类要测量土地面积与距离、食物和时间。土地、食物和时间不总是一可测的整数量。一农民可能只拥有不到 1 亩的地。一活动持续的时间可能不足 1 小时。在人类历史早期，人们就需要有比 1 小的数。

最初，用的只是最简单的分数。但人们为了避免用复杂的分数，在可能时，把测量单位分成更小的单位。例如，把 1 小时再均分为 60 分，1 英尺分为 12 英寸，一个整圆分成 360 个称为度的子单位。

常在一些子单位中出现 12、60 和 360 的理由是：它们具有较多的因子——即，可被多个整数所除尽，而不剩余数。例如，12 就可被整数 1、2、3、4、6 和 12 所除尽。

在许多情况下，单位必须再分。如果把 2 亩地分成 3 等份，则每等分就都比 1 亩要小。因此，每部分的大小就以分数 $\frac{2}{3}$ 来表示，读做三分之二。其实，分数就是一种简化的除法问题，每一除法都可表示成一分数。父亲想把 175 亩地平分给他的两个孩子时，则将 175 除以 2，而给每个孩子 $\frac{175}{2}$ 或 $87\frac{1}{2}$ 亩地。

算分数当然要比算整数复杂，因为前者不像后者那样地与位置（进位）记数法相合。不过到了 17 世纪，人们就开始用位置记数法，来表示不足一整数的部分——十进分数或十进小数。

写成相除（$\frac{3}{4}$、$\frac{11}{12}$、$\frac{29}{72}$ 等）的任何分数，均可用其分子除以其分母而化为一个十进小数。要把 $\frac{3}{4}$ 化为小数，则先把 3 除以 4，再用一小数点，把分数与一些整数隔开：

```
     0.75
  4)3.00
    2 8
      20
      20
       0
```

采用十进位制的主要好处是：小数可完全像整数一样地来进行加、减、乘和除。

乘方 简化算术运算并不是到乘法就终止了。把乘法作为一种简化的算术形式来看，似乎是一大进步。但就像算 15×15×15 这样简单的连乘问题，也得要相当的工作量：

```
   15      225
 × 15    ×  15
   75     1125
  15      225
  225     3375
```

算术中常有连乘问题出现。例如，求一边长 3 米的立方体

的体积时，就把边长连乘 3 次：3×3×3＝27 立方米。近代数学之父笛卡儿为此而采用了一个简捷的符号。他所用的一种新的符号叫做指数。8×8 的指数表示法是 8^2。数的右角上的小数字为指数，代表底数 8 连乘的次数或用做因子的次数。对一个数的连乘计算称之为乘方，或称将此数升到多少次方。因此，就可把 14×14×14×14×14 写成 14^5，而称 14 的 5 次方或 5 次幂。

指数是算术中的一个重要又有用的方式：它提供了一种计算很大的数的简易方法。科学家或数学家惯于将特大的数用指数形式，特别是 10 的 n 次幂来表示。科学家将光速每秒 30 000 000 000 厘米这个数，写作 3×10^{10}(cm/s)。如果科学家想找出 100 000 000 秒钟光一共走了多远，做正规乘法得到的结果是一巨大之数。但科学家可用指数形式来相乘。用指数相乘的规则是：两同底的幂相乘时，把两个指数相加，而将其和作为同底的乘积的指数。科学家的问题是这样：

$$3\times10^{10}\times10^{8}=3\times10^{18}$$

幂相除时则将其指数相减：$3^4\div3^2=3^2$。解下题来说明这一法则：

$$3^4\div3^2=\frac{3\times3\times3\times3}{3\times3}=\frac{81}{9}=9=3^2$$

也可用指数来表示特小的数和分数。用指数的除法规则：$3^2\div3^3=3^{-1}$。若这些数用标准的阿拉伯数字来表示，则这问题可读做：$9\div27=\frac{9}{27}$或$\frac{1}{3}$。因此，3^{-1}其实就等于$\frac{1}{3}$。带负号的指数代表该数为一分数。

开方 每种算术过程都有其逆过程。加的逆过程为减。乘的逆过程为除。而乘方的逆过程则称为开方。既然乘方是连乘过程，当然开方就是连除过程了。这个连除过程最后导致得到其底数，这数叫做原数的根。如 64 这个数被 4 连除 3 次的答数是 1：

$$64\div4=16$$
$$16\div4=4$$
$$4\div4=1$$

因此，4 是 64 的 3 次方根或立方根而写成

$$\sqrt[3]{64}$$

人们一般并不经常需要直接求出方根，且此法又太繁而实无必要。好在数学家发展了一个代替符号，来简化求方根的计算。他们把方根用分数指数来代表。16 的平方根(或二次方根)可写做

$$\sqrt{16}\quad 或\quad 16^{\frac{1}{2}}$$

两者的结果都为 4。

和正规分数一样，分数指数亦可化为小数形式：

$$16^{\frac{1}{2}}=16^{.5}$$

一经得到了这些等价的数，就可把数表示成相应的指数形式了。

早在 17 世纪，苏格兰数学家 J. 纳皮尔和英国数学家 H. 布里格斯发展了一种最实际地应用指数性质的体系，从而大大地简化了算术。他们发明了对数体系。对数就是指数。纳皮尔发现：若每个可能的数都可表成一公共底数的幂，则所有的乘除问题，都可归简为指数的加减问题。布里格斯倡议以 10 为公共底数。他作出了录有每个数的对数 log(或 10 的幂)的表。100 的对数为 2，它就代表 10^2。非 10 的整数幂的数则在表上用带小数的对数值来表示。1 074的对数，即 log1 074，等于 3.0311，因为 $1\,074=10^{3.0311}$。

自从电子计算机与袖珍计算器出现后，完成复杂的算术运算变得十分便利。用这种计算器，可在几秒钟内求出乘方、开方和对数来。不过，我们还是需要懂得算术运算的原理，使得我们在用到它们时，能正确使用。

撰文：Kenneth Rose

减法 SUBTRACTION 见：**算术**

乘法 MULTIPLICATION 见：**算术**

分数(普通分数和十进分数) FRACTIONS, COMMON AND DECIMAL

将 1 美元兑换成零钱有多种方法：2 个半美元，4 个$\frac{1}{4}$美元，10 个硬币(1 硬币＝10 美分)，20 个镍币(1 镍币＝5 美分)，100 个美分。不管怎样换，美元是被拆成几份零钱了。这些零钱就称为分数(fraction)，此词是由拉丁文的破开(fractus)而来。

所有分数都是代表整体的一部分。很早以来，人们就为方便而习惯地把东西分成部分。1 小时分为 60 分钟。每昼夜分成 24 小时，每年分成 12 个月。英里分为英尺，千米分为米。1 英寸是 1 英尺的 12 分之一。分数因其能测整数(如 1、2 和 5)以外的数而很有用。用分数来测量会更准确：说“四又十分之一升”比说“4 升多一点”更准确。

分数的类型

在日常的数学中有两种分数：普通分数与十进分数。两者的区别仅在于其写法上。分数中所用的数与在整数中所用的相同，但在用法上有所不同。普通分数是写做如$\frac{4}{10}$或$\frac{7}{100}$的形式：即十分之四和百分之七。同样两数若用十进分数(即十进小数，以下简称小数)则为 0.4 和 0.07，一般读做零点四和零点零七。两法所表示的大小是相同的。

在普通分数中，横线(分数线)下的数为分母，线上的数为分子。在读分数时则先念分母。这样，$\frac{2}{3}$读做三分之二。除 0 以外的数，既可为分母也可为分子。普通分数所表示的不仅是个量，而且是个比率：一个量与另一个量的关系。例如，分数$\frac{1}{2}$表示 1 与 2 之比率：1 与 2 的关系是 1 是 2 的一半。比率是很常用的。当面包师傅做烤饼时，他可将每两杯糖掺入每三杯面粉中：比率为 2 比 3，可写成$\frac{2}{3}$。

十进分数或小数之称，是因为它属于以十为底的命数系统或十进(位)制(见：**命数系统和数**)。有时就简单地称

其为“小数”，所有十进分数包含一或多个数，在其前加上一个点，叫小数点：例如，0.4 读做十分之四，一般简单地读做零点四。若数是在小数点后的第一位则分数总是读做十分之几。若数出现在小数点后第二位上则读做百分之几，而在第三位上则读做千分之几。换言之，十进分数与整数遵循同样的系列，其中第一位为十分位列，第二位为百分位列，如此等等。例如，小数 0.075 读做千分之七十五，而分数 0.3852 读做万分之三千八百五十二。

普通分数的分母可以是任意整数。但在十进小数中，未写出的分数总是 10，或 10 的高次方如 100，1 000，10 000 等等。这意味着很容易把十进小数化为普通分数，其方法是给小数点后之数以恰当的分母。因此，小数 0.85 就成了普通分数$\frac{85}{100}$了。

要将一普通分数化为一十进小数，则必须把其分子除以其分母。这样，就可将$\frac{3}{4}$化为小数 0.75 了。但不是所有普通分数都能化得这样准：将$\frac{2}{3}$化成的小数的小数点后面，就有一串无穷无尽个 6。

普通分数 普通分数有 4 种：真分数、假分数、带分数和繁分数。真分数的分子小于分母，像$\frac{3}{4}$。因此，真分数的值恒小于 1。假分数的分子大于或等于其分母，如$\frac{6}{5}$或$\frac{4}{4}$。因此，所有假分数之值恒大于或等于 1。

带分数，也称混合分数，是一整数与一分数之和，像分数 $2\frac{1}{3}$。任何带分数都可化为假分数，即把整数乘分母加上原分子，然后把这和数置于原分母之上。这样带分数 $2\frac{1}{3}$就变成了假分数$\frac{7}{3}$了。

繁分数则用于高等数学中，它不含自然数。例如，平方根 5 分之平方根 2 就认为是繁分数：

$$\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{5}}$$

同样，分母与分子均为假分数的分数也是繁分数：

$$\frac{2\frac{1}{3}}{3\frac{3}{5}}$$

十进分数 假十进小数，即所知的混合十进数，是在小数点的前后都有数的数。2.38 就是一例：它读做二又百分之三十八。其中“又”字只不过用来代表小数点的位置，用以将整数部分和分数部分分开。为避免混乱，正规读十进小数时，都不读“又”而读做“点”。因此，2.38 应读做二点三八。

不能有假十进分数，因为十进数中的分子不能超过分母（十分之几，百分之几，如此等等）。凡大于十进分数的，不是一个混合（假）十进数便是一个整数。另外，也不可能把一些繁分数用小数无限准确地表示。

十进分数的计算

分数和整数一样，可做加、减、乘和除的四则运算。小数的这些运算更便当，因其计算过程和整数中的很相像，不同的是要记住小数点的位置。要注意的是，在加减法中，所涉及的数的小数点必须对齐，并有同样的小数位数。小数位数不等的数相加减，有时要在其中一数上添加零。例如，3.68 加 7.5，则要在 7.5 后加一个 0 而成 7.50。加减运算中，诸数的小数点要对齐。数的加法，应如此写：

$$\begin{array}{r} 7.50 \\ +3.68 \\ \hline 11.18 \end{array} \quad \text{而不是} \quad \begin{array}{r} 7.5 \\ +3.68 \\ \hline \end{array}$$

这原理同样适用于小数的减法。除有小数点外，这和整数运算完全一样。如将上题中的两数相减，方法则一样，只是结果不同而已：

$$\begin{array}{r} 7.50 \\ -3.68 \\ \hline 3.82 \end{array}$$

注意 7.5 后必须加上 0，其处才有数与 8 相减。

小数相乘并不比整数相乘难，只要不忘小数点的正确位置。它和加减法不同的是：不必加 0 来添足小数位数。这是因为加上 0 会搅乱小数点的位置。

按以下的一些规则来做小数相乘，则有助于定出小数点的正确位置。

规则 1. 若小数乘整数，则乘积中的小数位数与被乘小数的小数位数相同。

0.6 乘 4 的计算为：

$$\begin{array}{r} 0.6 \\ \times\ \ 4 \\ \hline \end{array} \quad \text{而结果为} \quad \begin{array}{r} 0.6 \\ \times\ \ 4 \\ \hline 2.4 \end{array} \quad \text{——为一混合小数}$$

规则 2. 若一整数去乘一小数，则乘积中的小数位数与被乘小数中的一样（注意：这是规则 1 的逆规则，两者实质上是同一规则）。例如，32 乘以 2.5 之计算如下：

$$\begin{array}{r} 32 \\ \times 2.5 \\ \hline \end{array} \quad \text{而结果是} \quad \begin{array}{r} 32 \\ \times 2.5 \\ \hline 160 \\ 64\ \\ \hline 80.0 \end{array}$$

再请注意小数点的位置。乘数（2.5）只有一位小数，因此乘积（80.0）中也出现一位小数。不过在本例中，小数可取消掉，因为 80 是一个整数。如果乘数是 2.6 则乘积就是 83.2，而成了混合小数，小数点就得保留。

规则 3. 若小数与小数相乘，乘积的小数位数等于两相乘数的小数位数之和。若被乘数与乘数之小数位数的和为 4，则乘积总共有 4 位小数（后面的 0 自然可以去掉）。0.56 乘上 0.44 的计算如下：

$$\begin{array}{r} 0.56 \\ \times 0.44 \\ \hline \end{array} \quad \text{则其结果为} \quad \begin{array}{r} 0.56 \\ \times 0.44 \\ \hline 224 \\ 224\ \\ \hline 0.2464 \end{array}$$

总共有 4 位小数，因为乘数与被乘数的小数位数的和为 4。混合小数相乘，其法相同。33.5 × 6.055 的乘积是 202.8425，表明小数位数为 4。

小数除法的步骤与整数除法相同，但对小数点的位置必须特别小心。要记住除法中的主要点：答案中小数点的位置由被除数和除数的小数点的位置来确定。除法也有些简便规则。

规则 1．若小数被一整数除，答数的小数位数与被除小数的小数位数相同。

因此，若 0.06 被 2 除，则答数为 0.03。

规则 2．当整数被小数除时，先得把小数化为整数，其法是把小数点右移到最后一位之右。被除数的小数点则向右移同样的位数，必要时则添以 0。这样，答数中的小数点正好与被除数的对齐：

$$0.08\overline{)5.00}\quad \text{则成}\quad \begin{array}{r}62.5\\ 8\overline{)500.0}\end{array}$$

规则 3．小数和小数相除，则同样要将除数化为整数，而被除数的小数点也要相应地向右移。因此，6.816 被2.13 除的答数便是 3.2，按此规则只有一位小数。

普通分数的计算

普通分数的算法在步骤上，要比十进小数复杂。但若记住先把分母通分，计算就简单了。做法是将分子和分母同乘或同除以一数，而分数值不变。因此，对$\frac{2}{3}$加$\frac{3}{4}$，则要找出其公分母，在此例中为 12。因而计算便成$\frac{8}{12}+\frac{9}{12}$。求得的结果为$\frac{17}{12}$。这答数可以化为带分数或混合小数。

减法步骤与上同。先找出公分母，然后将前一分子减去后一分子：

$$\frac{3}{4}-\frac{2}{3}=\frac{9}{12}-\frac{8}{12}=\frac{1}{12}$$

当遇到带分数，如 $2\frac{1}{3}+3\frac{3}{4}$ 时，则先将其化为假分数：

$$\frac{7}{3}+\frac{15}{4}$$

然后再通分：

$$\frac{28}{12}+\frac{45}{12}=\frac{73}{12}$$

可将此结果换回到带分数或混合小数（即 $6\frac{1}{12}$，或略大于 6.08）。

分数相乘时，分子与分子相乘，分母与分母相乘，而无需通分。$\frac{3}{5}$乘$\frac{2}{3}$时，将两分子（3 和 2）相乘而得 6，然后将两分母（5 和 3）相乘而得 15。因此，答数为$\frac{6}{15}$。这又可经分子和分母同除以 3，而约简为$\frac{2}{5}$。带分数则要先化为假分数后方能相乘。

分数除法总是换成乘法来运算。当任何整数、带分数或真分数除以另一分数时，后者（除数）要先倒过来。然后，两数按以上所说的相乘。$\frac{3}{8}$除以$\frac{3}{4}$，先把$\frac{3}{4}$颠倒成$\frac{4}{3}$；再乘上$\frac{3}{8}$而得$\frac{12}{24}$，而这又可约简成$\frac{1}{2}$。

如一整数除以一分数，则分数要先倒过来，然后将此整数与分子相乘：

$2\div\frac{2}{3}$　　变为　$2\times\frac{3}{2}=\frac{6}{2}$　约化而为 3。

而带分数则当然得先化为假分数：

$4\frac{1}{2}\div1\frac{1}{2}$　就变为　$\frac{9}{2}\div\frac{3}{2}$

于是得$\frac{9}{2}\times\frac{2}{3}=\frac{18}{6}$　经约简而为 3。

对数　LOGARITHM　见：信息论

代数　ALGEBRA

代数是数学的一个重要分支，如今不仅在中学或大学中学习，在小学中也逐渐加强了。有眼光的讲授和对新的数学计划的理解，能使代数成为引人入胜的一门课。代数和其他数学分支——它们是密切相关的——一样有用。对一些专业，例如工程技术和自然科学，代数知识也是不可缺少的。（参见：**算术；微积分学；几何学；数学；命数系统和数**）

家长们认识到在今天的学校教学计划中数学已逐渐加强了。然而他们可能没有理解到在家里就有许多帮助他们孩子的机会，自然而然地从解答算术问题进入到解答代数问题。

例如，8 周岁的儿子问他的父亲几岁了。父亲可以不直接回答，而尝试做一次试验，只回答他比这个孩子大 30 岁，这是一个孩子有兴趣解答的问题。他能够迅速完成加法，得出他父亲 38 岁了：

8＋30＝38

假定这个孩子又问他的母亲的年纪。此时父亲可以提出更难的问题。例如，父亲可以这样回答，如果把母亲的年龄加上 6 年便等于父亲的年龄。于是父亲找到很好机会帮助孩子了解如何建立并解答一个代数方程。

父亲把母亲的年龄写在小片纸的一面，然后将纸翻过来使孩子看不到这个数字。于是他把这张纸放在木板上，空白面向上。然后在纸的右边写下了有助于解答的数字和符号：

▒＋6＝38

这孩子很快就猜出他的母亲是 32 岁了。当这位父亲将这张纸翻过来，他们看到这个回答是正确的：

▓＋6＝38

这将成为这孩子的第一堂代数课，因为他已基本上解答了这个方程

$x+6=38$　（称“x 加 6 等于 38”）

对于那个可以取代任意数的神秘字母 x，这位父亲一句话也不说。也不告诉孩子求解的规则，如“把 6 改为 -6 并移到等式的右边。”而是让孩子的第一课代数，从算术问题自然地引申出来。

当孩子在学校中学习代数时，他将学到许多代数和算术间的关系。一些代数的基本概念将在本部分中说明，它

们在求解多种类型的数学问题中的应用，将在“代数基本概念的应用”这部分中讨论。

开句

开句是常用的教育方法。它也常用于学生的考试中。在一张留空的句子单中，假定前三句是：

1. [　　　　]是宾夕法尼亚的首府。

2. ＿＿＿＿＿是加利福尼亚的首府。

3. (　　　　) 是伊利诺伊的首府。

要求学生用正确的答案填进空格，将这些句子转换成正确的陈述。

一个参加测验的学生使第一句转换成为如下的正确陈述：

1. [哈里斯堡]是宾夕法尼亚的首府。

他将第二句转换成错误的陈述：

2. 好莱坞是加利福尼亚的首府。

他不知道伊利诺伊的首府的名字，因此他继续填充其他句子，而让第三句空着：

3. (　　　　)是伊利诺伊的首府。

由于未将第三句的空格填满，这个学生既没有将它转换成正确的陈述，也没有将它转换成错误的陈述。既非正确又非错误的句子称为开句。

在数学中，把开句转换成正确句的题目是很常见的。下面有几个开句的例子，你可以将合适的数字填入空格，使它们转换成正确的陈述：

1. 6＋32＝□　　3. 5－3＝○

2. ＿＋2＝5　　4. 5×◇＝10

这些开句可以转换成正确的陈述，只要在第一句中填入 38，第二句中填入 3，第三句中填入 2，第四句中填入 2：

正 1. 6＋32＝[38]　　3. 5－3＝②正

正 2. 3＋2＝5　　4. 5×◇2◇＝10 正

如果你把 10 填入第一句中，就将它转换成错误的陈述：

6＋32＝[10]　错

变量

考虑一个学生所写的下列短文：

每年有许多人拜访它。它是个著名的城市。亚伯拉罕·林肯就曾住在它那里。它是伊利诺伊的首府。

因为这些句子没有一句是明确的陈述，不能断定它们是正确的或错误的，每一句都是开句。教师可要求学生把这些句子中的任一句中的代名词“它”用一个专有名词——城市的准确名称——取代，这一句就转换成正确的陈述。

如果学生用专有名词“华盛顿”代替代名词“它”，他的作文的前三句将转换成正确的陈述，但第四句将变成错误的陈述。如果他用了专有名词斯普林菲尔德，这四个句子将全部转换成正确的陈述：

每年有许多人访问斯普林菲尔德。斯普林菲尔德是个著名的城市。亚伯拉罕·林肯就住在斯普林菲尔德。斯普林菲尔德是伊利诺伊的首府。

在数学中，和常用语言一样，可以不用空格表示开句。例如，开句

□＋3＝5

可以写成

x＋3＝5

正如开句

它是伊利诺伊的首府。

可以转换成正确陈述或错误陈述，只要用一个专名取代符号“它”；开句

x＋3＝5

可以转换成正确陈述或错误陈述，只要用一个名称取代符号“x”。符号“它”充当了城市名的位置占有者，符号“x”充当数字名称的位置占有者。

我们自然可用其他符号充当位置占有者。字母如“a”、“b”、“c”或“x”充当了位置占有者，就称为变量。

句子

m＋3＝8

可以转换成正确的陈述，如用数字“5”取代“m”：

⑤＋3＝8　正

也可以转换成错误的陈述，如用数字“2”取代“m”：

②＋3＝8　错

此处还有一些其他开句例子，你可以很容易将它们转换成正确的或错误的陈述：

1. y－5＝4　　3. k÷3＝4

2. 3×a＝12　　4. $\frac{m}{4}=3$

这些句子可以转换成正确陈述，只需用“⑨”取代“y”，用“④”取代“a”，用“⑫”取代“k”，用“⑫”取代“m”。

在数学中乘法记号×常被中心圆点“·”取代。有时，如在数字和变量之间，或在两个变量间，“·”号也可省略。因此句子“3×a＝12”可以写成

3·a＝12　或 3a＝12

句子“k÷3＝4”可读做

k 被 3 除的商为 4。

这个句子也可写为

$$\frac{k}{3}=4$$

数、数字和方程

在 6 个装的鸡蛋盒中的鸡蛋数有多个名称。例如：

半打，6，3＋3，$\frac{18}{3}$和 3·2

全是蛋盒中鸡蛋数的不同名称。

数的名称称为数词或数式，开句

x－4＝2

可以转换为正确的陈述。只要将上述蛋盒内鸡蛋数的任一数式取代 x 就行了。例如：

$6-4=2$

$3+3-4=2$，和

$3\cdot 2-4=2$

都是正确陈述。我们说

数 6 满足开句 $x-4=2$。

我们也可以说

数 3+3 满足开句 $x-4=2$。

因为

$5-4\neq 2$[读做 5 减 4 不等于 2]，

我们说

数 5 不能满足开句 $x-4=2$。

虽然变量 x 可以被许多数式所取代使开句 $x-4=2$ 转换成正确的陈述，这类数式全是同一数的名称，因为有一个而且只有一个数能满足这个开句。数 6 满足这个开句是正确的，3+3 也满足这个开句，但 6 和 3+3 正好是同一数的不同名称。

句子

$6-4=2$ 正

称为等式。这个等式告诉我们 6－4 和 2 是同一个数。这是一个正确的陈述，因为数式 6－4 和 2 是同一数的两个名称。式子

$5-4=2$ 错

是错误的陈述，因为 5－4 和 2 并非同一数的名称。

式子

$(3+3)-4=(3\cdot 2)-4$

是正确的陈述，因为 $3+3-4$ 和 $3\cdot 2-4$ 是同一数的名称。数式 $(3+3)-4$ 中的圆括号告诉你，你可以找到这个数字的另一名称，即先将 3 加上 3，然后从它们的和中减去 4：

$$\left.\begin{aligned}(3+3)-4&=6-4\\6-4&=2\end{aligned}\right\}\text{所以，}(3+3)-4=2$$

在数式 $(3\cdot 2)-4$ 中的圆括弧告诉你，你可以找到数 $(3\cdot 2)-4$ 的另一名称，只要先将 3 乘以 2，然后把它们的积减 4：

$$\left.\begin{aligned}(3\cdot 2)-4&=6-4\\6-4&=2\end{aligned}\right\}\text{所以，}(3\cdot 2)-4=2$$

开句

$x-4=2$

也称为方程。满足这个方程的全部数的集称为方程的解集。这个方程的解集由数 6 组成，因为 6 是满足这方程的惟一的数。

满足方程 $x-4=2$ 的全部数的集可用下列简写符号表示

$\{x:x-4=2\}$

我们可以读成"使得 $x-4=2$ 的全部数 x 的集"。

这个句子

$\{x:x-4=2\}=\{6\}$

表示满足方程 $x-4=2$ 的全部数的集由数 6 组成。

注意以下例子，句子

$\boxed{3}\cdot 0=0$ 和 $\boxed{7}\cdot 0=0$

是正确陈述。事实上，任何数乘以 0，其积为 0。因此开句

$\square\cdot 0=0$

由任意数满足。换句话说。$x\cdot 0=0$ 的解集由任意数组成：

$\{x:x\cdot 0=0\}$包括所有的数

推广

因为这个句子

斯普林菲尔德是伊利诺伊的首府。

是正确的陈述，我们可以这样说

有一个城市，它是伊利诺伊的首府。

同样，因为方程

$\boxed{8}-5=3$

是正确的陈述，我们可以这样说

存在有这样性质的一个数，它减去 5 后，其差为 3。

更短一点，我们这样说

存在一个数 x，使 $x-5=3$。

这个最后的一句告诉我们数的一个性质，它被称为"推广"。因为它告诉我们，在许多数中存在一个具有某一性质的数。这个句子称为"存在推广"。

存在推广常被写成简化形式，即把字母"E"倒转过来。句子

$\exists_x x-4=2$

是简写式，告诉你存在一个具有减去 4 其差为 2 的性质的数。这句子"$\exists_x x-4=2$"可以读成：

存在 x，使 x 减去 4 其差为 2。

句子如

$\boxed{5}-4=2$ 错

或 $\boxed{8}-4=2$ 错

也被称为上述推广的例子。这些例子自然是错误的陈述。下面的例子

$\boxed{6}-4=2$ 正

当然是正确的陈述。这个存在推广

$\exists_x x-4=2$

是正确的陈述，因为它至少有一个正确的例子。也就是说，这个存在推广是正确的，因为至少存在一个具有这样性质的数，将它减去 4，其差为 2。

回顾下句

$\boxed{3}\cdot 0=0$ 或 $\boxed{\tfrac{1}{2}}\cdot 0=0$

都是正确陈述。事实上每个数都有这样一个性质，即当它们和 0 相乘时，其积为 0。更简短些，可这样说

对任意数 x，$x\cdot 0=0$

最后一句告诉我们数的一个性质，它也称为一个推广。因为它告诉我们每个数都有这个确定的性质，这类句子称为"全称推广"。

全称推广通常写成简化形式，即用倒写的"A"。

句子

$\forall_x x\cdot 0=0$

是个简写式子，它告诉你每个数都有这样一个性质，当它和 0 相乘，其积为 0。句子"$\forall_x x\cdot 0=0$"可读成：

对每个 x，x 和 0 的乘积为 0。

一些句子如

[5]·0=0　正

或[6]·0=0　正

是上述推广的例子，全称推广是正确陈述，因为它的全部例子都是正确陈述。

注意，没有一个数能满足句子 x·0=5，也就是存在推广

$\exists_x x \cdot 0=5$　错

是个错误陈述。这相当于说每个数满足开句

□·0≠5

所以，全称推广

$\forall_x x \cdot 0 \neq 5$　正

是正确的陈述。

注意，例如"2·[4]=6"是错误的陈述，所以不是每一个数满足开句"2x=6"。也就是全称推广

$\forall_x 2 \cdot x=6$　错

是错误的陈述。这相当于说存在一个满足如下开句的数

2·□≠6

所以存在推广

$\exists_x 2 \cdot x \neq 6$　正

是正确的陈述。

符号"∃"称为存在量词，符号"∀"称为全称量词。

下面有几个推广例子，有些是正确的，有些是错误的：

1. $\exists_x x+3=8$　　3. $\exists_x x \cdot 0=0$

2. $\forall_x x+3=8$　　4. $\exists_x x+3=3$

第一个推广是正确的，因为"[5]+3=8"是它的一个正确的例子。第二个推广是错误的，因为不是所有的例子都是正确陈述。例如"[6]+3=8"是错误的陈述。第三个推广是正确的，因为例子"[1]·0=0"是正确陈述。第四个也正确，因为"[0]+3=3"是正确陈述。

模型和原理

让我们考虑下述问题

是否存在一个具有以下性质的数，它加 3 之和等于 15 减去它之后的差

这等于问，是否存在一个数满足开句

3+□=15−□

数 2 不能满足这个开句，因为句子

3+[2]=15−[2]　错

是错误的陈述。数 6 满足上述开句，因为

3+[6]=15−[6]　正

是正确的陈述。

注意，虽然这个式子

3+[5]=15−[7]

是正确的陈述，但并不适合开句"3+□=15−□"所提出的模型。一个句子适合这个模型，当而且只当在两个方框中写的是同一个数。

我们可以用"x"代替每个方框。考虑开句

$3+x=15-x$

可以转换为正确的陈述，只要把变量 x 代以数"6"。

因此

$\exists_x 3+x=15-x$　正

是正确陈述，而

$\forall_x 3+x=15-x$　错

是错误的。

现在我们考虑数的一个很重要的基本性质。注意，任意一对数，把第二个数加到第一个数之和，等于把第一个数加到第二个之和：

[2] + (3) = (3) + [2]　$\begin{cases} 2+3=5 \\ 3+2=5 \end{cases}$

[5] + (15) = (15) + [5]　$\begin{cases} 5+15=20 \\ 15+5=20 \end{cases}$

由于这个性质，每对数满足开句

□ + ○ = ○ + □

我们同意，如果第一个数写在每个方框内，第二个数写在每个圆圈内，就适合这个开句所提出的模型。

用变量代替这些框框，我们可以说，任意一对数满足开句

$x+y=y+x$

我们同意：每个变量 x 可由第一个数取代，每个变量 y 可由第二个数取代。

上述的数的性质可表述如下：

$\forall_x \forall_y x+y=y+x$

这个全称推广叫做加法的交换律。它告诉你

对任意 x 和 y，x+y=y+x

这是正确推广，因为它的全部例子都是正确陈述。

全称推广

$\forall_{x \neq 0} x \cdot \frac{1}{x}=1$

告诉你，每个非零的数，满足开句

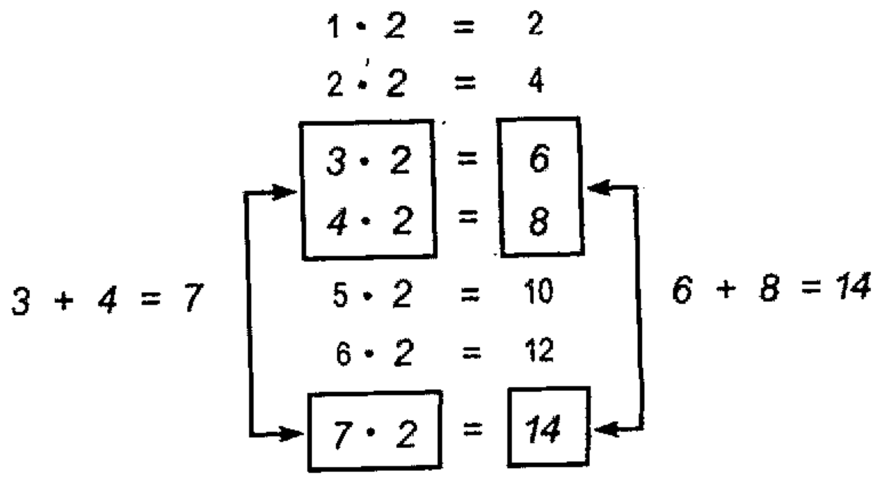
$\square \cdot \frac{1}{\square}=1$

这个推广也是正确的陈述，因为它的全部例子是正确陈述。例如，下列例子是正确陈述：

$[2] \cdot \frac{1}{[2]}=1$　$[4] \cdot \frac{1}{[4]}=1$

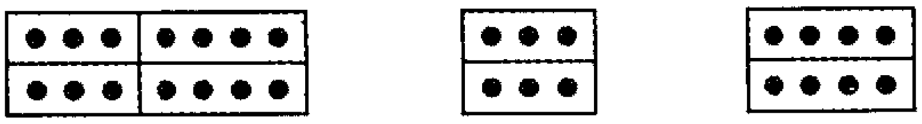
第一个例子告诉你，两个$\frac{1}{2}$块饼等于一块。第二句话告诉你，四个$\frac{1}{4}$块饼也等于一块。数$\frac{1}{2}$称为 2 的倒数，数$\frac{1}{4}$称为 4 的倒数。

数的另一个基本性质，由乘法表提供。例如，考虑



我们可看出下一句子是正确陈述：

(◇3 + △4) · □2 = (◇3 · □2) + (△4 · □2)



开句

(◇ + △) · □ = (◇ · □) + (△ · □)

将转换成正确陈述，如果将第一个数填入斜方框，第二个数填入三角形框，第三个数填入方框。

全称推广

$$\forall_x \forall_y \forall_z (x+y)\cdot z=(x\cdot z)+(y\cdot z)$$

告诉你

对任意 x、y 和 z，x、y 的和与 z 的乘积等于 x、z 的乘积与 y、z 的乘积之和。

这个全称推广称作分配律〔专业表述是：乘法对于加法的分配律〕。它是正确的陈述，因为它的所有例子都是正确的。例如复杂的数式

$(27\cdot 18)+(73\cdot 18)$

可以用分配律留心简化为：

(◇27 · □18) + (△73 · □18) = (◇27 + △73) · □18

= 100 · □18

= 1800

因此得 $(27\cdot 18)+(73\cdot 18)=1800$

实数

算术数是用来量度大小的。例如当我们说 10 千米的行程、15 千克的包裹或 7 天的假期，就用了算术数。

实数用于有向变化的测度——它们如同测度大小那样测度方向。例如你体重增加 10 千克，体重的变化用实数

$^{+}10$（念"正十"）

表示。如果你实行减肥，体重减少 10 千克，体重的变化用实数

$^{-}10$（念"负十"）

表示。

实数系由全部正数、全部负数和 0 组成。实数 0 对应于算术数 0。对应于非 0 的每个算术数有两个精确的实数：一个是正数，另一个是负数。例如 $^{+}10$ 和 $^{-}10$ 是对应于算术数 10 的两个实数。算术数 10 称为 $^{+}10$ 和 $^{-}10$ 的算术值。

一对实数的和是实数，它是对应的一对有向变化的合成结果的测度。例如你增加 10 千克〔体重的变化用实数 $^{+}10$ 测度〕，然后减轻 6 千克〔体重变化用 $^{-}6$ 测度〕，体重变化的合成结果是增加了 4 千克〔用 $^{+}4$ 测度〕。简括地说，

$$^{+}10+{}^{-}6={}^{+}4$$

如果你增 6 千克〔$^{+}6$〕，而后减 10 千克〔$^{-}10$〕，你的体重的净变化是少了 4 千克：

$$^{+}6+{}^{-}10={}^{-}4$$

如果你增 10 千克然后减 10 千克，你的体重的净变化是 0：

$$^{-}10+{}^{-}10=0$$

我们说

$^{+}10$ 是 $^{-}10$ 的反数

而

$^{-}10$ 是 $^{+}10$ 的反数。

$^{+}10$ 的反数的短名是 $-{}^{+}10$，而 $^{-}10$ 的反数的短名是 $-{}^{-}10$。因为 $-{}^{+}10={}^{-}10$，$^{+}10$ 和它反数的和是 0：

$$^{+}10+-{}^{+}10={}^{+}10+{}^{-}10$$

所以 $\boxed{^{+}10}+-\boxed{^{+}10}=0$

同理， $\boxed{^{-}10}+-\boxed{^{-}10}=0$

事实上，对任意实数，它和它反数的和为 0。而且，如果一对实数的和为 0，每一个数是另一个数的反数。例如：

$$^{+}10+{}^{-}10=0,$$

$^{+}10$ 和 $^{-}10$ 中的每一个都是式中另一数的反数。注意，

$$0+0=0,$$

所以 0 的反数是 0。

给定的实数的反数，称为这个实数的加法倒数。例如 $^{+}10$ 的加法倒数是 $^{-}10$，而 0 的加法倒数是 0。每个数都有一个加法倒数。

加法的基本规律

我们将列举实数加法的一些规律。这些称为基本规律。我们先从前文提到的三条规律开始：

(A0) {(a) 一对实数的和仍是实数。
(b) 0 是一个实数。
(c) 一个实数的反数仍是实数。}

注意到先增 10 千克再减 6 千克

$$^{+}10+{}^{-}6,$$

和先减 6 千克再增 10 千克

$$^{-}6+{}^{+}10,$$

的结果相同。所以

$$\boxed{^{+}10}+ ⓪^{-}6 = ⓪^{-}6 + \boxed{^{+}10}$$

这显示实数的加法是交换运算，我们将它采纳为实数加法的另一个基本规律：

(A1) $\forall_x \forall_y\, x+y=y+x$

体重在增加 10 千克后，没有再增加或减少，其结果为增加 10 千克：

$$\boxed{^{+}10}+0=\boxed{^{+}10}$$

这又提出了基本规律：

(A2) $\forall_x\, x+0=x.$

在上一节中提到：实数和它的反数的和为 0。我们采纳它作为另一条基本规律：

(A3) $\forall_x\, x+{}^{-}x=0$

最后，我们用实数的加法结合规律完成我们的基本规律表。在表述这条规律之前，我们先考虑一个例子。

假定你处在两周的假期中。如果你第一周增重 2 千克，第二周你减重 3 千克〔体重变化的结果可用实数 $^{+}2+{}^{-}3$ 测度〕，然后回家增重 4 千克〔$^{+}4$〕，你的体重变化的结果

可用实数

$$({}^{-}2+\ 3)+{}^{+}4$$

测度。如果在度假的前一周你已增重 2 千克[${}^{-}2$]，然后在假期的第一周减重 3 千克，第二周增重 4 千克[$3+{}^{+}4$]，你的体重的变化结果由实数

$$\cdot\ {}^{+}2+({}^{-}3+{}^{+}4)$$

测度。因为$({}^{+}2+{}^{-}3)+{}^{+}4={}^{-}1+{}^{+}4={}^{+}3$

和${}^{+}2+({}^{-}3+{}^{+}4)={}^{+}2+{}^{+}1={}^{+}3$，

它归结为

$$(\boxed{{}^{+}2}+\triangle_{-3})+{}^{+}4=\boxed{{}^{+}2}+(\triangle_{-3}+{}^{+}4)$$

这提示开句

$$(\square+\triangle)+\bigcirc=\square+(\triangle+\bigcirc)$$

将转换成正确陈述，如果第一个数字填入方框，第二个数字填入三角形框，而将第三个数字填入圆框。

这个全称推广

(A4)　$\forall_x\forall_y\forall_z(x+y)+z=x+(y+z)$

称为实数加法的结合律。这个基本规律告诉你

对任意 x、任意 y 和任意 z，(x+y)与 z 之和等于 x 与(y+z)之和。

实数加法满足从(A0)到(A4)的基本规律，简而言之，可概括为：实数集是一个加法下的交换群。

乘法的基本规律

考虑实数是有向变化的测度，提示了实数的基本乘法规律。

让我们首先考虑一些例子。如果你每周增重 3 千克[体重的变化由${}^{+}3$ 测度]，2 周后[时间的变化用${}^{+}2$ 测度]你的体重将增加 6 千克。我们说${}^{+}3$ 和${}^{+}2$ 的乘积为${}^{+}6$。简说为

$${}^{+}3\cdot{}^{+}2={}^{+}6$$

如果你每周增 3 千克，两周前[${}^{-}2$]你比现在轻 6 千克[${}^{-}6$]：

$${}^{+}3\cdot{}^{-}2={}^{-}6$$

如果你每周减轻 3 千克[${}^{-}3$]，2 周前[${}^{-}2$]，你比现在重 6 千克[${}^{+}6$]：

$${}^{-}3\cdot{}^{-}2={}^{+}6$$

如果一个给定的实数被乘以实数${}^{+}1$，其积仍是这个给定的实数。例如

$$\boxed{{}^{+}2}\cdot{}^{+}1=\boxed{{}^{+}2}\qquad\boxed{{}^{-}2}\cdot{}^{+}1=\boxed{{}^{-}2}$$

前文已说过，每个实数有一个加法倒数。与这类似，每个实数[除 0 以外]有一个乘法倒数。它被称为实数的倒数。一个实数和它的倒数的乘积是${}^{+}1$；如果一对实数的乘积为${}^{+}1$，任一个数是另一个数的倒数。所以，例如${}^{+}3$ 的倒数是分数

$$\frac{{}^{+}1}{{}^{+}3}$$

因为 $\boxed{{}^{+}3}\cdot\dfrac{{}^{+}1}{\boxed{{}^{+}3}}={}^{+}1$

每个非零实数满足开句

$$\square\cdot\frac{{}^{+}1}{\square}={}^{+}1$$

也注意，实数的乘法满足交换律。即开句

$$\square\cdot\triangle=\triangle\cdot\square$$

被转换为正确的陈述，如果将第一个数字填入每个方框，而将第二个数字填入每个三角框。例如：

$$\boxed{{}^{+}2}\cdot\triangle_{-3}={}^{-}6$$

$$\triangle_{-3}\cdot\boxed{{}^{+}2}={}^{-}6$$

所以，$\boxed{{}^{+}2}\cdot\triangle_{-3}=\triangle_{-3}\cdot\boxed{{}^{+}2}$

实数的乘法也满足结合律。例如：

$$(\boxed{{}^{+}2}\cdot\triangle_{-3})\cdot\bigcirc_{+4}={}^{-}6\cdot{}^{+}4={}^{-}24$$

$$\boxed{{}^{+}2}\cdot(\triangle_{-3}\cdot\bigcirc_{+4})={}^{+}2\cdot{}^{-}12={}^{-}24$$

所以，$(\boxed{{}^{+}2}\cdot\triangle_{-3})\cdot\bigcirc_{+4}=\boxed{{}^{+}2}\cdot(\triangle_{-3}\cdot\bigcirc_{+4})$

对实数性质的这些研究，提示一系列的实数乘法的基本规律，它们类似于实数加法的基本规律。对应于基本规律(A0)，我们采纳基本规律如下：

(M0)
- (a) 一对实数的乘积仍是实数。
- (b) ${}^{+}1$ 是实数且${}^{+}1\neq0$。
- (c) 非零实数的倒数仍是一个实数。

对应于(A1)到(A4)的加法基本规律，我们采纳如下基本规律：

(M1)　$\forall_x\forall_y x\cdot y=y\cdot x$

(M2)　$\forall_x x\cdot{}^{+}1=x$

(M3)　$\forall_{x\neq0}x\cdot\dfrac{{}^{+}1}{x}={}^{+}1$

(M4)　$\forall_x\forall_y\forall_z(x\cdot y)\cdot z=x\cdot(y\cdot z)$

基本规律(M3)告诉你，每个非零实数($\forall_{x\neq0}$)和它的倒数的乘积为${}^{+}1$。

最后，为使我们的实数加法和乘法的基本规律系列趋于完备，把分配律加入这系列中：

(D1)　$\forall_x\forall_y\forall_z(x+y)\cdot z=(x\cdot z)+(y\cdot z)$

实数的加法和乘法满足基本规律(A0)到(A4)、(M0)到(M4)和(D1)，简而言之，可概括为：实数集是一个域。

在下一节，将举例说明如何利用这些规律推演出实数的加法和乘法的其他性质。

基本规律的应用

让我们利用基本规律取得实数的加法和乘法的其他一些规律。我们认为基本规律是正确的陈述，而且指出了由这些规律推演出来的逻辑结论也是正确的陈述。我们从很简单的例子开始。注意下列句子

$$\boxed{{}^{+}3}+0=\boxed{{}^{+}3}$$

是正确陈述，因为它是全称推广(A2)的一个例句。句子

$$0+\boxed{{}^{-}3}=\boxed{{}^{+}3}$$

并非(A2)的一个例句，因为它不适合“x+0=x”提出的模

型。但它是正确的。是否我们必须进行计算才能确定呢？不必要！我们可用(A1)和(A2)推定

$$0+\boxed{^+3}=\boxed{^+3}$$

是正确的。下面句子是(A1)的一个例句：

$$0+\boxed{^+3}=\boxed{^+3}+0$$

而下面这一句是(A2)的例句

$$\boxed{^+3}+0=\boxed{^+3}$$

从这两例句可得

$$0+\boxed{^+3}=\boxed{^+3}$$

这提供了一个模型，我们可使用这模型证明全称推广

(*)　　$\forall_x 0+x=x$

的任一例句都可由基本规律(A1)和(A2)推出。由此，我们说这个全称推广本身是(A1)和(A2)的推论。

推广(*)和在基本规律中列举的推广有重要区别。我们采纳这些基本规律，是基于一些例子的计算。而我们采纳(*)，因为它是从已采纳的基本规律得到的逻辑结论(即纯出于推理)。我们假设基本规律自然成立，但我们能证明(*)。

注意，语句

$$\boxed{^+3}\cdot{}^+1=\boxed{^+3}$$

是正确陈述，因为它是全称推广(M2)的例句。例句

$$^+1\cdot\boxed{^+3}=\boxed{^+3}$$

不是(M2)的例句。你能否证明它是(M1)和(M2)的推论，因此它是正确的陈述？[试一试！]

注意，前文所列的基本规律中并未提到0和任一实数的乘积为0。我们不需要这样的基本规律，因为我们能够证明全称推广

$$\forall_x 0\cdot x=0$$

是我们的基本规律的推论。作为一个讨论的例子，我们证明

$$0\cdot\boxed{^+3}=0$$

首先，我们注意到下述语句是(A2)的例句：

$$\boxed{0}+0=\boxed{0}$$

因此　$0\cdot{}^+3=(0+0)\cdot{}^+3$

由(D1)，　$(0+0)\cdot{}^+3=(0\cdot{}^+3)+(0\cdot{}^+3)$

所以　$0\cdot{}^+3=(0\cdot{}^+3)+(0\cdot{}^+3)$

于是可得

(Ⅰ) $(0\cdot{}^+3)+-(0\cdot{}^+3)=[(0\cdot{}^+3)+(0\cdot{}^+3)]+-(0\cdot{}^+3)$

由(A3)，

(Ⅱ) $(0\cdot{}^+3)+-(0\cdot{}^+3)=0$

但由(A4)、(A3)和(A2)，

$$\begin{aligned}[(0\cdot{}^+3)+(0\cdot{}^+3)]+-(0\cdot{}^+3)&=(0\cdot{}^+3)+[(0\cdot{}^+3)+-(0\cdot{}^+3)]\\&=(0\cdot{}^+3)+0\\&=0\cdot{}^+3\end{aligned}$$

于是得

(Ⅲ) $[(0\cdot{}^+3)+(0\cdot{}^+3)]+-(0\cdot{}^+3)=0\cdot{}^+3$

从语句(Ⅰ)、(Ⅱ)和(Ⅲ)，可得

$$0\cdot{}^+3=0$$

到此，我们已证明"$0\cdot{}^+3=0$"是(A2)、(D1)、(A3)和(A4)的推论。

我们可以用这个讨论的模型证明全称推广

$$\forall_x 0\cdot x=0$$

的任一例句都是我们的基本规律的推论。

现在我们回顾基本规律(M0)(b)

$$^+1\neq0$$

因此，我们知道0和任一实数的乘积不能为1，即

$$\forall_x 0\cdot x\neq{}^+1$$

这解释了为什么0没有乘法倒数：一个实数和它的乘法倒数的乘积为$^+1$，但0和任一实数的乘积都不是$^+1$。

许多有关实数的加法和乘法的推广都可被证明是我们的基本规律的推论。

实数的减法可以用实数加法的概念来定义。例如：

$$\boxed{^+10}-\triangle_{^+3}=\boxed{^+10}+-\triangle_{^+3}$$

$$\boxed{^+10}-\triangle_{^-3}={}^+10+-\triangle_{^-3}$$

实数的减法可用下面的全称推广来定义：

$$\forall_x\forall_y\, x-y=x+-y$$

我们可以证明例如全称推广

$$\forall_x\forall_y\,(x-y)+y=x$$

是我们的基本规律和减法定义的推论。

读者可尝试证明这个全称推广的特例是正确陈述。例如试证明

$$({}^+3-{}^-4)+{}^-4={}^+3$$

是减法定义、(A4)、(A1)、(A3)和(A2)的推论。你可以如此开始：

由减法定义

$$({}^+3-{}^-4)+{}^-4=({}^+3+-{}^-4)+{}^-4$$

由(A4)

$$({}^+3+-{}^-4)+{}^-4={}^+3+(-{}^-4+{}^-4)$$

[你可以用(A1)、(A3)和(A2)完成这个论证。]

与此类似，我们可以用一个实数乘以非零实数的倒数定义实数的除法。例如：

$$\boxed{^+10}\div\triangle_{^+3}=\boxed{^+10}\cdot\frac{^+1}{\triangle_{^+3}}$$

用全称推广表示为：

$$\forall_x\forall_{y\neq0}\, x\div y=x\cdot\frac{^+1}{y}$$

我们可以证明如下例的全称推广

$$\forall_x\forall_{y\neq0}\,(x\div y)\cdot y=x$$

是我们的基本规律和除法定义的推论。

读者可尝试证明下例

$$({}^+3\div{}^-4)\cdot{}^-4={}^+3$$

是除法定义、(M4)、(M1)、(M3)和(M2)的推论。[可以像你推导语句“$(^{+}3-^{-}4)+^{-}4=^{+}3$”那样开始。]

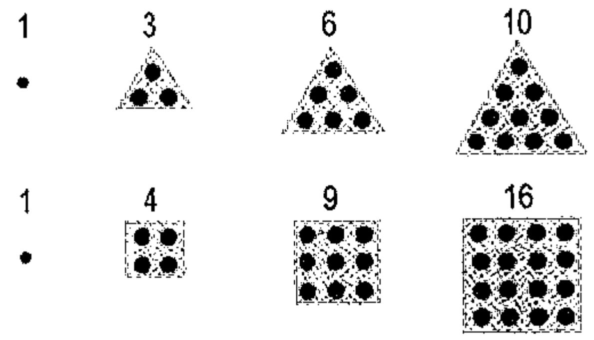
代数的开端

3 500 年前，一个叫阿姆斯的埃及人收集了一系列的数学问题和它们的答案，其中包括例如满足方程

$$x\left(\frac{2}{3}+\frac{1}{2}+\frac{1}{7}+1\right)=37$$

的数 x 等一类问题。

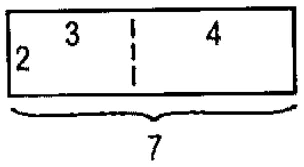
约在 2 500 年前，希腊数学家毕达哥拉斯发起一个宗教-数学的秘密组织，它的成员称毕达哥拉斯学派。他们对几何学特别有兴趣，将数字按几何性质分类，例如他们研究三角数和正方数：



著名的希腊几何学家欧几里得通过对几何学的研究发现数的重要性质，例如语句

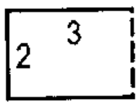
$$2\cdot(3+4)=(2\cdot3)+(2\cdot4)$$

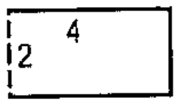
的正确性可以从几何学上由下例中矩形的面积：



$$\begin{aligned}面积&=2\cdot(3+4)\\&=2\cdot7\\&=14\end{aligned}$$

等于下列两个矩形面积之和而获得证明：





$$\begin{aligned}面积&=2\cdot3\\&=6\end{aligned}\qquad\begin{aligned}面积&=2\cdot4\\&=8\end{aligned}\qquad[6+8=14]$$

丢番图，另一位著名的早期希腊数学家，被称为“代数之父”。他以纯数字观点处理代数。他对某些类型的方程作了专门的研究，它们至今仍称为丢番图方程。

现在使用的代数(algebra)一词来自阿拉伯文 al-jabr，它最初出现在阿拉伯天文学家和数学家花拉子米约于公元 825 年写成的代数教材的书名上。算法(algorism 或 algorithm)一词便来自花拉子米的名字(al-Khwarizmi)。

近世代数学

多少世纪以来，我们的实数代数都是从考虑算术问题发展起来的。实数代数的研究和近代的对基本规律的本质重要性的认识，导致了近世代数或抽象代数的发展。

在这个方向上的最早的先驱者之一是法国的天才数学家伽罗瓦(1811－1832)。虽然他 20 岁时就在荒谬的决斗中死去，度过了悲剧的一生。他的研究导致了近代群和域的理论的发展。

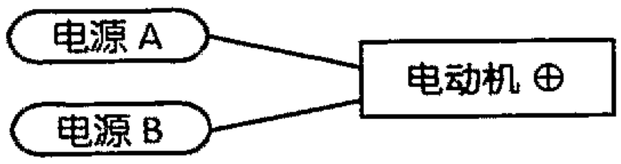
已经发现近世代数的概念在数学的其他分支和物理科学及社会科学中都很有用。化学家可用群论研究晶体的结构；物理学家可用近世代数设计电子计算机。数学家可用近世代数研究逻辑学。

在实数代数中，我们循基本规律的推论研究实数加法和乘法的性质。在近世代数中，我们可研究任意对象集。[没有必要只研究实数。]我们考虑这些对象的某种运算。[这些运算不必只是加法和乘法。]我们同意这些运算满足某些基本规律。[这些基本规律不必和实数的加法和乘法的基本规律相同。]于是我们从假设的基本规律导出多种性质。

布尔代数

布尔代数是一个重要的数学分支，它因英国的数学家和逻辑学家布尔(1815－1864)而得名，它结合了数学方法和逻辑学。让我们考虑一个简单的例子。

假定将两个电(动力)源联结到一个电动机上，我们将它标记为“电动机⊕”。我们假定至少有一个电源运行，电动机⊕便运行，如果两电源都不运行，电动机便不运行。现在我们连续问三个问题，每个问题只需回答“是”或“非”，前两个回答确定了第三个问题的答案。我们对前两个问题列举了不同回答的组合和相对应的第三个问题的答案。

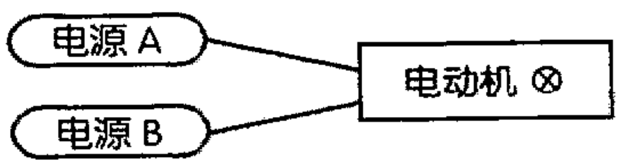


A 源运行否	B 源运行否	电动机⊕运行否
非	非	非
非	是	是
是	非	是
是	是	是

给出前两个问题的回答，我们就能确定第三个。上表为我们提供了一种运算，我们用符号⊕表示这种运算：

非	⊕	非	=非
非	⊕	是	=是
是	⊕	非	=是
是	⊕	是	=是

假设用标记为“电动机⊗”的新电动机取代电动机⊕：



我们假定除非两个电源都运行，电动机⊗才可运行。我们可以再次问同样的三个问题，前两个问题的回答确定了第三个问题的答案。

A 源运行否	B 源运行否	电动机⊗运行否
非	非	非
非	是	非
是	非	非
是	是	是

这个表提供了另一种运算，我们用符号⊗表示

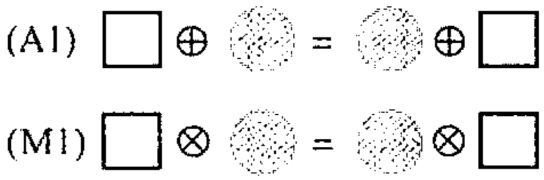
非	⊗	非	=	非
非	⊗	是	=	非
是	⊗	非	=	非
是	⊗	是	=	是

运算⊕和⊗提出一种小型算术，它以对象

"非"和"是"

取代了实数。这些运算满足某些基本规律，所限定的算术称为布尔代数。

例如，和实数的代数一样，⊕和⊗满足交换律



例句

非 ⊕ 是 = 是 ⊕ 非 {非 ⊕ 是 = 是 / 是 ⊕ 非 = 是}

和 非 ⊗ 是 = 是 ⊗ 非 {非 ⊗ 是 = 非 / 是 ⊗ 非 = 非}

按我们的原则是正确的陈述。

这些只是布尔代数中的少数基本规律。布尔代数就像实数代数那样有很多个基本规律。布尔代数在一些领域如电子计算机程序设计和电子线路构成中是很有用的，因为它们需要用到数学和逻辑。

说到这儿，学生已经了解到基本代数概念和代数与其他数学分支的关系，下一部分将深化这个认识，解释如何将实数代数的基本概念用来解决多种多样的问题。

代数基本概念的应用

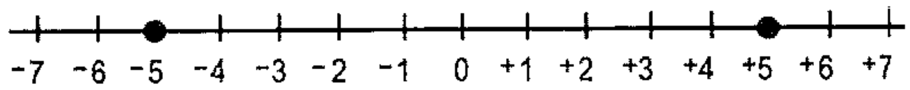
在许多专业人员和大部分技术职业中，人们都需要理解代数的基本概念和如何应用这些基本概念，工程师和科学家尤为需要。

在本条目的前面部分已经描述了代数的基本概念，本部分将介绍这些概念如何用来帮助解决各种类型的数学问题。

实数的应用

实数应用的一个例子是温度的测量。如在很冷的日子里，告诉别人温度为 5 度是不充分的，你还必须表明是"零上"5 度，或是"零下"5 度。你可用实数 $^{+}5$[称为正 5]或 $^{-}5$[称为负 5]表明温度。在"零上"的温度由正实数测度，而"零下"温度则由负实数测度。

用线上的点集形象地表示实数集，可能是有用的：



像这样的图常称为实数直线图。用 0 标注的点称为原点。(见：命数系统和数)

算术数 5 是实数 $^{+}5$ 和 $^{-}5$ 的算术值。算术数用来测度大小；实数用来测定大小和方向。

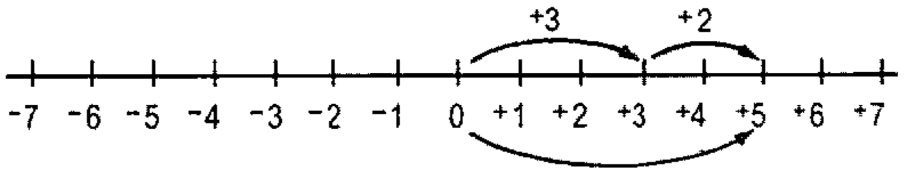
另一个使用实数的例子，是测量在海平面上的高度或海平面下的深度。麦克金利山的标高为海平面上 6 194 米，由实数 $^{+}6\ 194$ 量度。死谷的标高为海平面下 86 米，由实数 $^{-}86$ 量度。海平面的标高是 0；在海平面上的高度用正实数量度，在海平面下的深度用负实数量度。

实数的运算

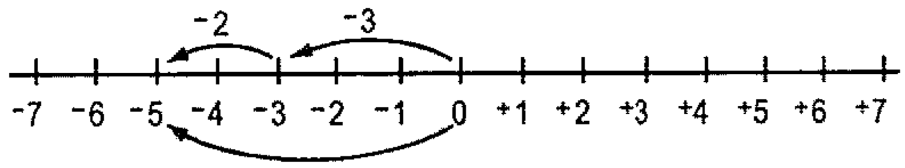
在本条目的前面部分已经提到一对实数的和是与量度相对应的一对有向变化的合成结果，它也是一个实数。为了进一步理解实数的加法，可借助于实数直线图形。

例如

$^{+}3+^{+}2=^{+}5$



$^{-}3+^{-}2=^{-}5$

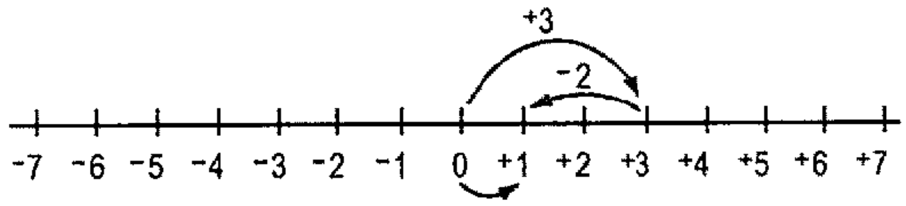


注意，当我们要求一对正数[或一对负数]的和时，可以应用我们的算术数的加法知识。因为一对正数[或一对负数]的和的算术值，是它们的算术值的和：

$3+2=5$

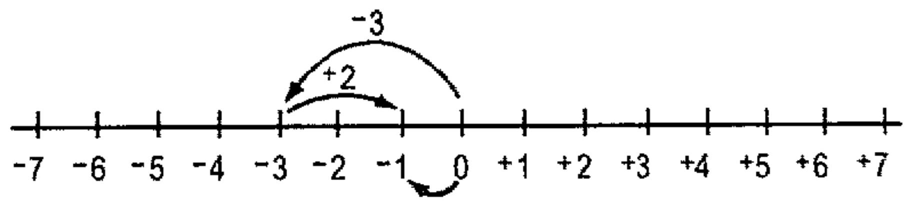
如果我们要求一个正数和一个负数的和，例如

$^{+}3+^{-}2=^{+}1$



或求一个负数和一个正数的和，例如

$^{-}3+^{+}2=^{-}1$



我们可以应用算术数的减法知识

$3-2=1$

在本条目的前面部分中，实数的减法定义为加上它的反数。例如

$^{+}3-^{+}2$

只是

$^{+}3+-^{+}2$

的简式。因为

$-^{+}2=^{-}2$

故得

$^{+}3-^{+}2=^{+}3+-^{+}2=^{+}3+^{-}2=^{+}1$

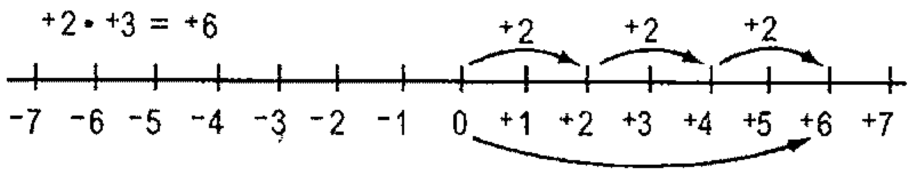
所以从 $^{+}3$ 减去 $^{+}2$ 的差是 $^{+}1$。而从 $^{+}2$ 减去 $^{+}3$ 的差是 $^{-}1$：

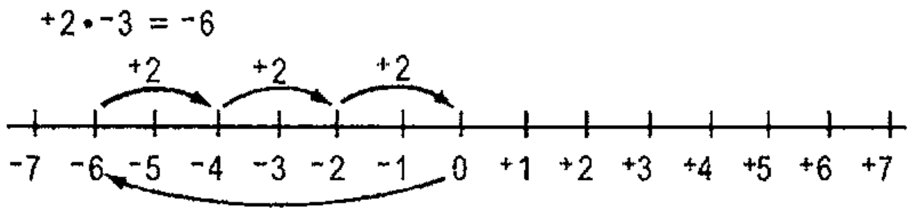
$^{+}2-^{+}3=^{+}2+-^{+}3=^{+}2+^{-}3=^{-}1$

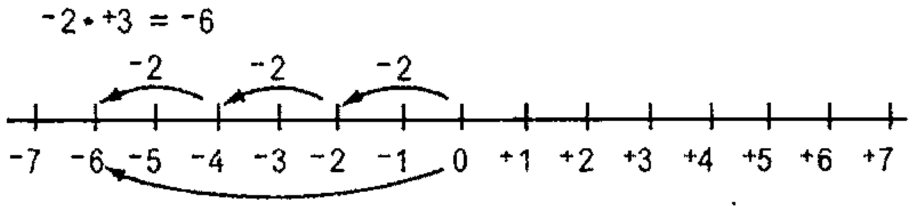
实数的乘法也和算术数的乘法相关：

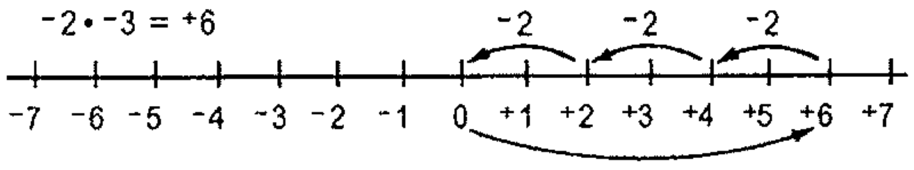
注意，一对实数乘积的算术值，是它们的算术值的乘积

$2 \cdot 3 = 6$









也注意，正数和另一正数[或负数和另一负数]的积是正数。正数和负数[或负数和正数]的积，是负数。

在本条目的前一部分，实数被另一个非零的实数除，定义为乘以后数的倒数。例如：

$${}^{-}6 \div {}^{+}3$$

只是

$${}^{+}6 \cdot \frac{{}^{+}1}{{}^{+}3}$$

的简式。

让我们看看 ${}^{+}6$ 被 ${}^{+}3$ 除的意义。我们希望找到一个实数满足开句

$${}^{+}6 \cdot \frac{{}^{+}1}{{}^{+}3} = \square$$

一个实数在且只在它满足下述条件下，才能满足上述开句：

$$\left({}^{+}6 \cdot \frac{{}^{+}1}{{}^{+}3}\right) \cdot {}^{+}3 = \square \cdot {}^{+}3$$

但

$$\left({}^{+}6 \cdot \frac{{}^{+}1}{{}^{+}3}\right) \cdot {}^{+}3 = {}^{+}6 \cdot \left(\frac{{}^{+}1}{{}^{+}3} \cdot {}^{+}3\right)$$

$$= {}^{+}6 \cdot \left({}^{+}3 \cdot \frac{{}^{+}1}{{}^{+}3}\right)$$

$$= {}^{+}6 \cdot {}^{+}1$$

$$= \underline{{}^{+}6}$$

所以，一个实数满足开句

$${}^{+}6 \cdot \frac{{}^{+}1}{{}^{+}3} = \square$$

在且只在它满足开句

$$\underline{{}^{+}6} = \square \cdot {}^{+}3$$

我们注意到 ${}^{+}2$ 是满足这个最后开句的一个实数

$$\underline{{}^{+}6} = \boxed{{}^{+}2} \cdot {}^{+}3$$

故得

$${}^{+}6 \cdot \frac{{}^{+}1}{{}^{+}3} = \boxed{{}^{+}2}$$

或相对应的

$${}^{+}6 \div {}^{+}3 = \boxed{{}^{+}2}$$

这里还列出一些其他的实数除法的例子：

$${}^{+}15 \div {}^{+}5 = \boxed{{}^{+}3} \text{因为} {}^{+}15 = \boxed{{}^{+}3} \cdot {}^{+}5$$

$${}^{+}16 \div {}^{-}2 = \boxed{{}^{-}8} \text{因为} {}^{+}16 = \boxed{{}^{-}8} \cdot {}^{-}2$$

$${}^{-}12 \div {}^{+}2 = \boxed{{}^{-}6} \text{因为} {}^{-}12 = \boxed{{}^{-}6} \cdot {}^{+}2$$

$${}^{-}9 \div {}^{-}3 = \boxed{{}^{+}3} \text{因为} {}^{-}9 = \boxed{{}^{+}3} \cdot {}^{-}3$$

注意实数除法和算术数除法的相似性，例如：

$$15 \div 5 = \boxed{3} \text{因为} 15 = \boxed{3} \cdot 5$$

$$16 \div 2 = \boxed{8} \text{因为} 16 = \boxed{8} \cdot 2$$

也注意正数被正数除[或负数被负数除]，其商为正数。正数被负数除[或负数被正数除]，其商为负数。

公式、函数和图形

水果商以 12 美分的价格出售每个苹果。为计价方便，他可以将不同数量的苹果价钱列表如下

苹果数	售价
0	$0
1	0.12
2	0.24
3	0.36

当然，他可以将此表按实际需要延伸下去。

注意，为了找到任意数量的苹果的价钱，他可以利用公式

$$C = 0.12 \cdot N$$

如果他以一个数字代替"N"，他能用这个公式找到售价。例如要找 17 个苹果的售价，他以"17"代替"N"。

$$C = 0.12 \cdot 17$$

如果他将 0.12 乘以 17，他就找到 17 个苹果的售价为 $2.04。

我们假定这位果商没有兴趣知道苹果的分数部分的钱。如此，"N"的值是整数，

$$0, 1, 2, 3, \cdots$$

而售价"C"则只是.12的倍数。考虑下列有序偶的集也是有用的：

$$\{(0,0), (1, 0.12), (2, 0.24), \cdots\}$$

有序偶的第一个成员，称为第一分量；有序偶的第二个成员称第二分量。例如有序偶(3,0.36)的第一分量是 3，而第二分量是 0.36。注意，在我们考虑的有序偶集中，没有两个有序偶有相同的第一分量。[例如，两个有序偶(1,0.12)和(2, 0.24)有不同的第一分量。]

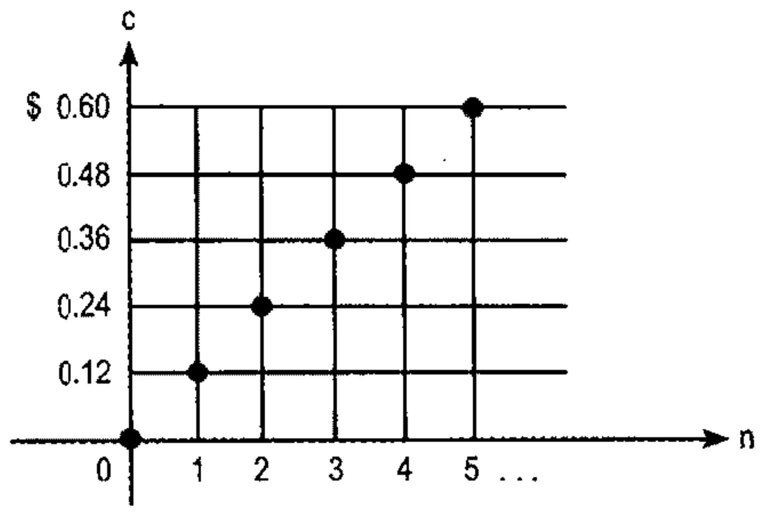
一个有序偶集满足下述条件：在这个集中没有两个有序偶有相同的第一分量，就称为函数。因此前文给出的有序偶集是一个函数。

前文给出的有序偶集可表述为一切有序偶(n,c)的集，其第一分量是一个整数，而

$$c = n \cdot 0.12$$

函数的定义域是这函数存在的有序偶集的第一分量的集。函数的值域是第二分量的集。在上述例子中，函数的定义域是全部正整数和零，函数的值域是 0.12 的倍数域。

为了取代不同苹果数的售价表，水果商可制作一图：



在"1"的上面和"0.12"的右面的圆点表示对应于有序偶(1，0.12)的点。在"2"的上面和"0.24"的右面的点对应于有序偶(2，0.24)。用上面这张图，水果商一眼就能看到 4 个苹果的售价是 48 美分。

上图中函数的定义域只由整数组成，因此图中的函数只是一个点序列。

线性函数

考虑实数的全部有序偶集(x，y)，它们满足第一分量和第二分量之和是$^{+}5$。

$$x+y={}^{+}5$$

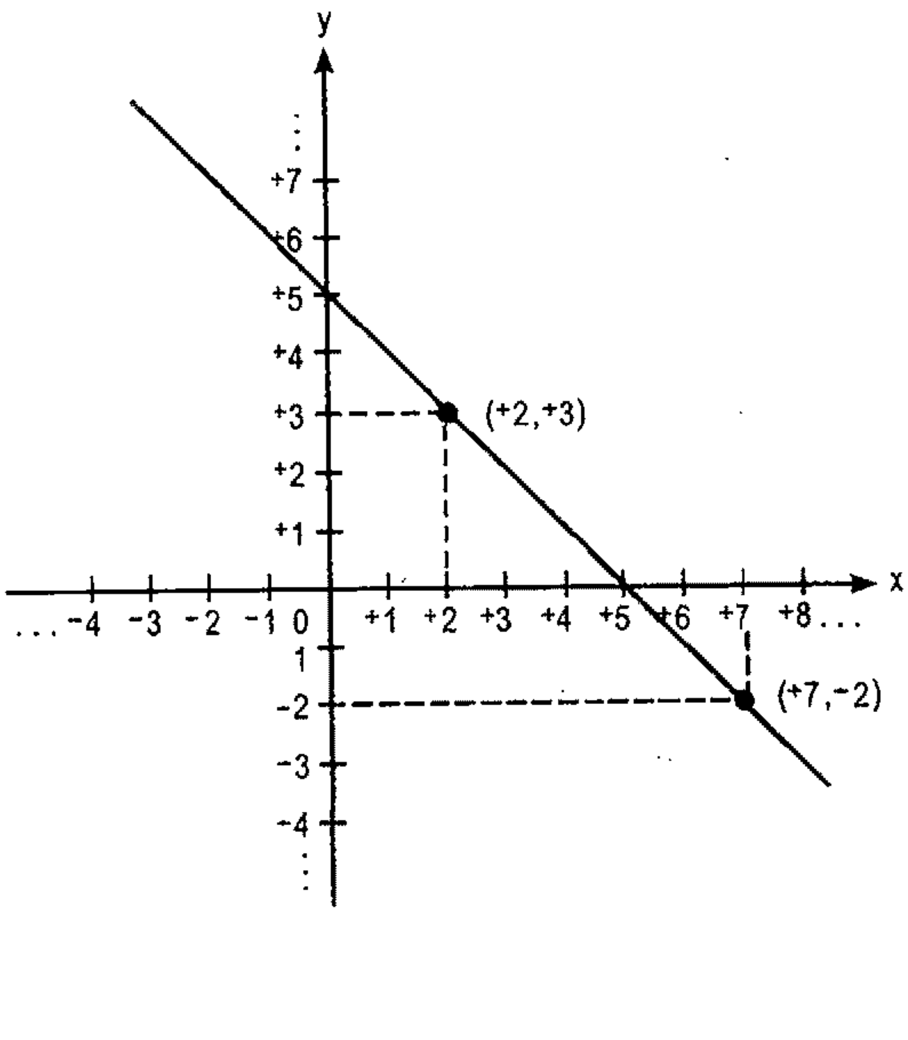
属于这个函数的有序偶有：

$$({}^{+}5,0),(+3\frac{1}{2},+1\frac{1}{2}),({}^{+}6,{}^{-}1)$$

这个有序偶集也可表示为满足下式的由全部实数有序偶组成的集

$$y={}^{-}1\cdot x+{}^{+}5$$

这个实数的有序偶集是一个函数，它的域和值域是全部实数集。这个函数的图形是一条直线：



图中对应于有序偶$({}^{+}2,{}^{+}3)$和$({}^{+}7,{}^{-}2)$的点已标记在图上。你将发现花点时间将对应以下有序偶的点标记在图上是值得的：

$$(0,{}^{+}5),({}^{+}1.5,{}^{+}3.5),({}^{-}1,{}^{+}6)$$

因为函数的图形是条直线，这函数被称为线性函数，而这方程

$$y={}^{-}1\cdot x+{}^{+}5$$

称为线性方程。

因为线性函数的图形是一直线，许多涉及直线和线段的几何问题可以用代数方法解出。解析几何和微积分对线性函数都作了研究。

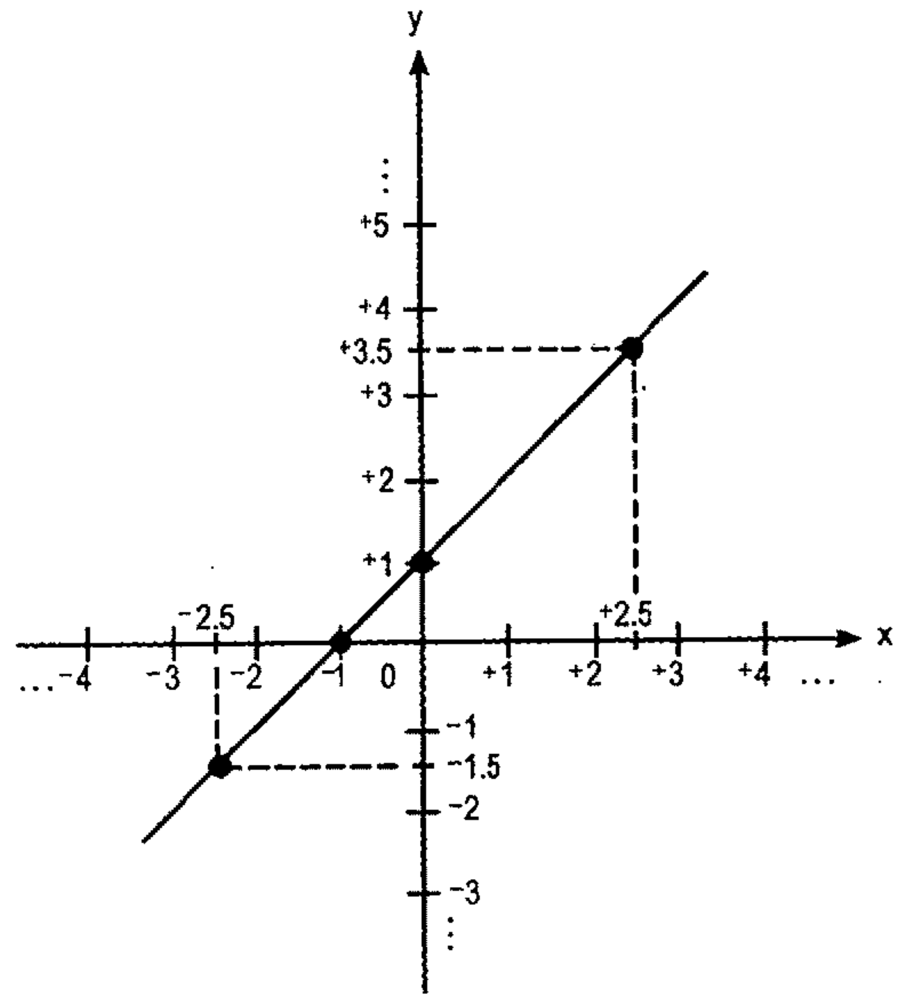
另一个线性函数的例子是另一个实数的有序偶全集(x，y)，满足方程

$$y=x+{}^{+}1$$

属于这个函数的有序偶有以下这些：

$$(0,{}^{+}1),({}^{-}1,0),({}^{+}2.5,{}^{+}3.5),({}^{-}2.5,{}^{-}1.5)$$

这个函数的图形也是一条直线：



还有其他的线性方程，如：

$$y=x+{}^{-}6\quad y={}^{+}5x+{}^{-}2\quad y={}^{-}4x+{}^{+}1$$

事实上，如果"a"和"b"是实数，且 $a\neq0$，则

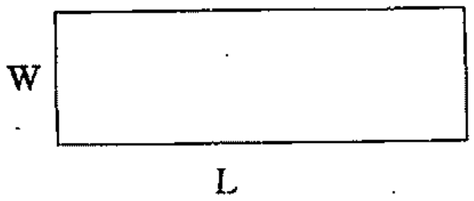
$$y=ax+b$$

是线性方程。对应的函数是线性函数，它的图形是一条直线。

二次函数

计算矩形面积的公式是

$$A=L\cdot W$$



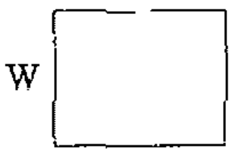
这个公式告诉你，矩形的面积等于长度和宽度的乘积。例

如，求长 5 分米宽 2 分米的矩形的面积，只需用“5”取代“L”，2 取代“W”，并相乘：

$A=5\cdot2=10$

即这个矩形的面积是 10 平方分米。

如果矩形的长、宽相等，这个矩形称正方形，它的面积的公式为



$A=W^2$［念做 A 等于 W 的平方］

上角码“2”称为指数，式“W^2”是 $W\cdot W$ 的简写式。

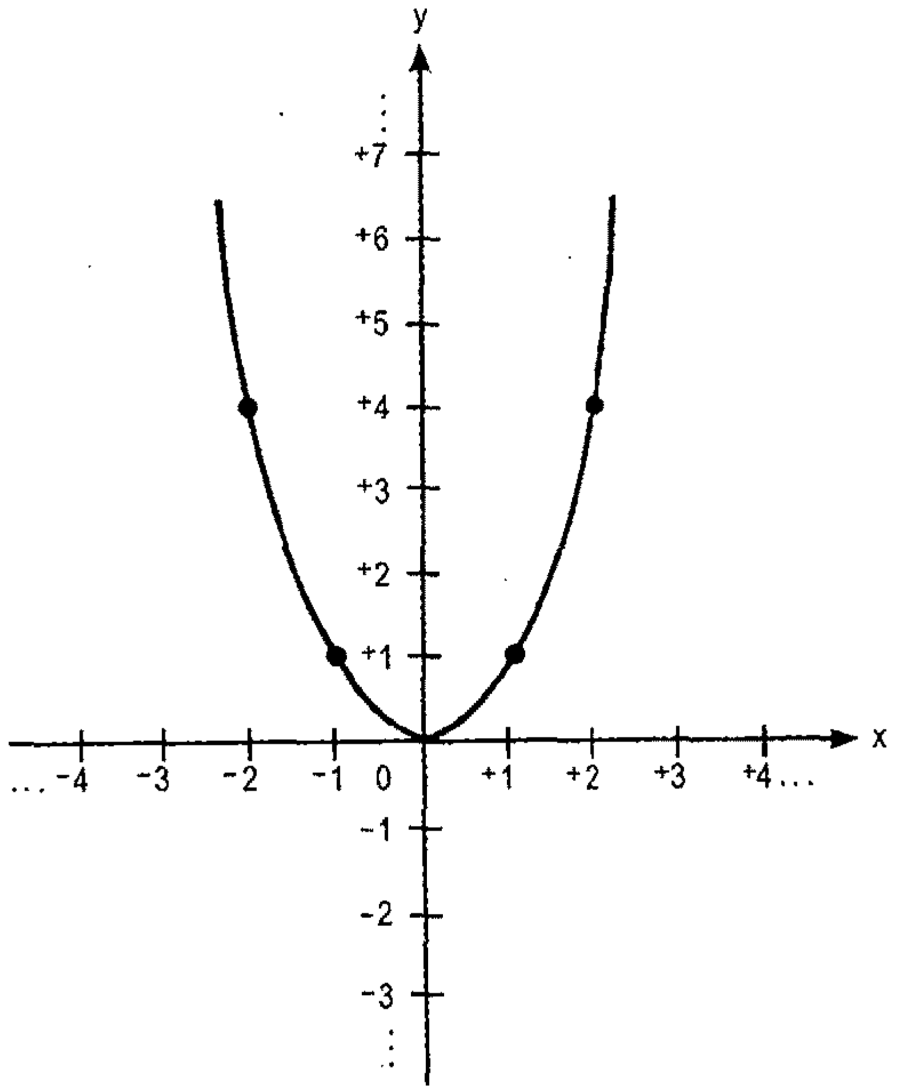
使得

$y=x^2$

的全部实数有序偶(x,y)之集是一个函数。属于这个函数的一些有序偶是：

$(0,0)(^+1,^+1),(^-1,^+1),(^+2,^+4),(^-2,^+4)$

这个函数的图像不是一条直线；这个函数不是线性函数。它是二次函数的一个例子。它的图像是一条抛物线：



另一个二次函数的例子是全部实数有序偶(x,y)之集，使得

$y=^+2x^2+^+5x+^-1$

如“a”、“b”和“c”是实数，且 $a\neq0$，则使得

$y=ax^2+bx+c$

的全部实数有序偶之集称为二次函数。二次函数的性质也在解析几何和微积分中讨论。

高次函数

考虑由实数有序偶(x,y)组成的函数，使得

$y=x^3$ ［念做 y 等于 x 的立方］

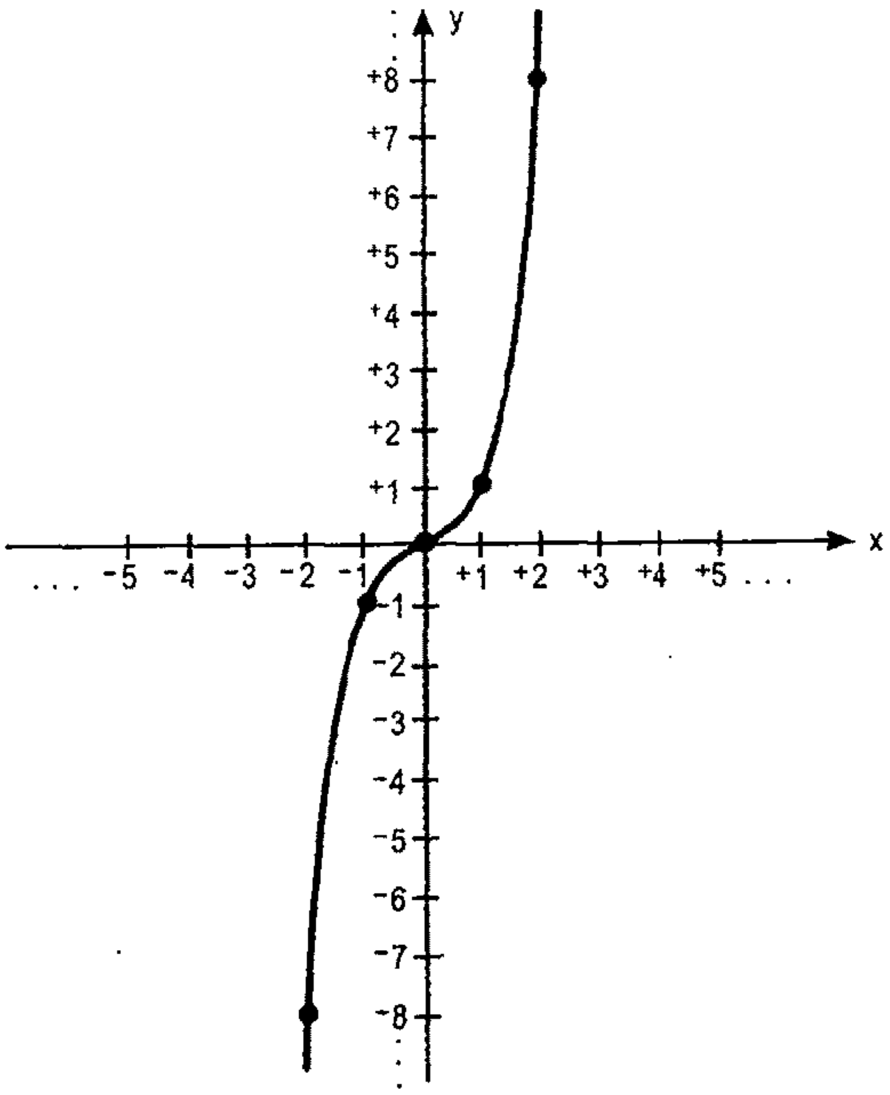
表达式“x^3”是下式的简写式

$x\cdot x\cdot x$

属于这个函数的一些有序偶是：

$(0,0),(^+1,^+1),(^-1,^-1),(^+2,^+8),(^-2,^-8)$

这个函数是三次函数的一例：



实数有序偶(x,y)全集，使得

$y=x^4$ ［念做 y 等于 x 的 4 次幂］

是四次函数的一个例子，式“x^4”自然是下式的简式：

$x\cdot x\cdot x\cdot x$

属于这个函数的一些有序偶是：

$(0,0),(^+1,^+1),(^-1,^+1),(^+2,^+16),(^-2,^+16)$

画这个函数的图像将引起你的兴趣。

指数的性质

在本条目之前已列举了加法和乘法的基本规律。从这些基本规律可以推导出其他规律。现在我们注意指数的一些性质，它们易从基本规律导出。

注意，例如：

$$2^2\cdot2^3=(2\cdot2)\cdot(2\cdot2\cdot2)$$
$$=4\cdot8$$
$$=32$$

而 $2^5=2\cdot2\cdot2\cdot2\cdot2=32$

事实上，容易证明下列的规律

$\forall_x x^2\cdot x^3=x^5$

这个规律告诉你，对任一实数 x，“x^2”和“x^3”的乘积是“x^5”，［注意，2+3=5］

也注意，例如：

$$\frac{2^5}{2^2}=\frac{2\cdot2\cdot2\cdot2\cdot2}{2\cdot2}=\frac{32}{4}=8=2\cdot2\cdot2=2^3$$

和 $$\frac{2^2}{2^5}=\frac{2\cdot2}{2\cdot2\cdot2\cdot2\cdot2}=\frac{4}{32}=\frac{1}{8}=\frac{1}{2\cdot2\cdot2}=\frac{1}{2^3}$$

这些例子提示了下列规律，容易证明它们可由基本规律导出：

$$\forall_{x\neq 0}\ \frac{x^5}{x^2}=x^3 \qquad \forall_{x\neq 0}\ \frac{x^2}{x^5}=\frac{1}{x^3}$$

[注意 5－2＝3]

这些规律提示你，你可用它们解决下列问题，无须使用铅笔和纸：

(a) $3^3\cdot 3^5=?$ [答案：$3^3\cdot 3^5=3^8$]

(b) $\frac{2^6}{2^2}=?$ [答案：$\frac{2^6}{2^2}=2^4$]

(c) $\frac{2^2}{2^6}=?$ [答案：$\frac{2^2}{2^6}=\frac{1}{2^4}$]

当然，你可以用计算校验这些答案。例如对最后一个问题我们有：

$$\frac{2^2}{2^6}=\frac{2\cdot 2}{2\cdot 2\cdot 2\cdot 2\cdot 2\cdot 2}=\frac{4}{64}=\frac{1}{16}=\frac{1}{2\cdot 2\cdot 2\cdot 2}=\frac{1}{2^4}$$

乘积和因式分解

你已经知道对每个实数"a"

$2\cdot a+3\cdot a=5\cdot a$

这可从分配律导出（见基本概念部分）

$2\cdot a+3\cdot a=(2+3)\cdot a$

而 $2+3=5$

现在考虑乘积：

$(a+2)\cdot(a+3)$

根据基本规律演算如下：

$$\begin{aligned}(a+2)\cdot(a+3)&=(a+2)\cdot a+(a+2)\cdot 3\\&=(a^2+2\cdot a)+(a\cdot 3+2\cdot 3)\\&=(a^2+2\cdot a)+(3\cdot a+6)\\&=a^2+(2\cdot a+3\cdot a)+6\\&=a^2+5\cdot a+6\end{aligned}$$

因此

$(a+2)\cdot(a+3)=a^2+5\cdot a+6$

我们说 $a^2+5\cdot a+6$ 是乘式"$(a+2)\cdot(a+3)$"的展开式。

当我们将一个式子转换成乘式，我们说这个式子被因式分解了。我们看到式子

$a^2+5\cdot a+6$

可以分解，它的因式是

$(a+2)$和$(a+3)$

注意，对于任意一对实数"a"和"b"：

$$\begin{aligned}(a+b)\cdot(a+b)&=(a+b)\cdot a+(a+b)\cdot b\\&=(a^2+b\cdot a)+(a\cdot b+b^2)\\&=a^2+(a\cdot b+a\cdot b)+b^2\\&=a^2+2\cdot a\cdot b+b^2\end{aligned}$$

因此

$(a+b)\cdot(a+b)=a^2+2\cdot a\cdot b+b^2$

而且我们看到对任意一对实数"a"和"b"，式

$a^2+2\cdot a\cdot b+b^2$

可被分解为因式。

对任意一对实数"a"和"b"，式

a^2-b^2

也可分解为因式。演算如下：

$$\begin{aligned}(a-b)\cdot(a+b)&=(a-b)\cdot a+(a-b)\cdot b\\&=(a^2-b\cdot a)+(a\cdot b-b^2)\\&=(a^2+-a\cdot b)+(a\cdot b-b^2)\\&=a^2+(-a\cdot b+a\cdot b)-b^2\\&=a^2+0-b^2\\&=a^2-b^2\end{aligned}$$

所以

$(a-b)\cdot(a+b)=a^2-b^2$

因式分解知识可能有助于简化数式或捷算数值。下面的三个例子演示了这一点：

例 1：$\frac{5\cdot a+5\cdot b}{5}=?$

解：

$$\begin{aligned}\frac{5\cdot a+5\cdot b}{5}&=\frac{5\cdot(a+b)}{5}\\&=5\cdot(a+b)\cdot\frac{1}{5}\\&=(a+b)\cdot(5\cdot\frac{1}{5})\\&=(a+b)\cdot 1\\&=(a+b)\end{aligned}$$

例 2：$\frac{a^2-4}{a-2}=?$ $[a\neq 2]$

解：$\frac{a^2-4}{a-2}=\frac{a^2-2^2}{a-2}=\frac{(a-2)\cdot(a+2)}{a-2}=a+2$

例 3：$19\cdot 21=?$

解：

$$\begin{aligned}19\cdot 21&=(20-1)\cdot(20+1)\\&=20^2-1^2\\&=400-1\\&=399\end{aligned}$$

因式分解能力在求二次方程的解中也是重要的。这将在下一节"二次方程"中介绍。

尝试将下列数式分解成因式的乘积，对读者是有益的：

(a) $3\cdot 3+3\cdot 4$

(b) $a^2-a\cdot b$

(c) $a^2-2\cdot a\cdot b+b^2$

答案：(a) $3\cdot 3+3\cdot 4=3\cdot(3+4)$

(b) $a^2-a\cdot b=a\cdot(a-b)$

(c) $a^2-2\cdot a\cdot b+b^2=(a-b)\cdot(a-b)$

二次方程

考虑方程

$x^2-{}^{+}25=0$

这个方程是二次方程的一个例子。实数 $^{+}5$ 和 $^{-}5$ 两者都满足上面这个开句：

$\boxed{^{+}5}^2-{}^{+}25=0$

$\boxed{^{-}5}^2-{}^{+}25=0$

所给方程的答案只是两个实数 $^{+}5$ 和 $^{-}5$。我们说 $^{+}5$ 和 $^{-}5$ 是所给方程的两个根。

当我们尝试找二次方程的根时，我们常用到实数的重要规律。这个规律可从本条目以前部分中所列举的基本规律导出，即一对实数的乘积为 0，在而且只在其中一个为 0

时。用数式表示

$$\forall_x \forall_y xy=0$$

当而且只当

$$x=0 \text{ 或 } y=0$$

让我们看看如何用这个规律找到二次方程

$$x^2-{}^{+}16=0$$

的根。我们首先注意到数式

$$x^2-{}^{+}16$$

可分解为

$$x^2-{}^{+}16=x^2-{}^{+}4^2=(x-{}^{+}4)\cdot(x+{}^{+}4)$$

因此，我们可将所给方程

$$x^2-{}^{+}16=0$$

转换为等价的方程

$$(x-{}^{+}4)\cdot(x+{}^{+}4)=0$$

实数满足这个最后的方程，当而且只当它满足所给方程。

我们知道方程

$$(x-{}^{+}4)\cdot(x+{}^{+}4)=0$$

当而且只当

$$x-{}^{+}4=0 \text{ 或 } x+{}^{+}4=0$$

因此，一个实数满足方程

$$(x-{}^{+}4)\cdot(x+{}^{+}4)=0$$

当而且只当它满足下列方程之一：

$$x-{}^{+}4=0 \text{ 或 } x+{}^{+}4=0$$

方程 $x-{}^{+}4=0$ 的解集只有一个数${}^{+}4$，因为

$$\boxed{{}^{+}4}-{}^{+}4=0$$

方程 $x+{}^{+}4=0$ 的解集只有一个数${}^{-}4$，因为

$$\boxed{{}^{-}4}+{}^{+}4=0$$

因此方程

$$(x-{}^{+}4)\cdot(x+{}^{+}4)=0$$

的解集由实数${}^{+}4$ 和${}^{-}4$ 组成。故所给方程

$$x^2-{}^{+}16=0$$

的根是实数${}^{+}4$ 和${}^{-}4$。我们可检验这个结果：

检验：$\boxed{{}^{+}4}^2-{}^{+}16=0$ 和 $\boxed{{}^{-}4}^2-{}^{+}16=0$

此处还另有一个因式分解如何有助于求二次方程的例子：

例：求下列方程的根

$$x^2-{}^{+}3x=0$$

解：数式 $x^2-{}^{+}3x$ 可被分解为

$$x^2-{}^{+}3x=(x-{}^{+}3)\cdot x$$

因此，所给方程可转换为等价方程

$$(x-{}^{+}3)\cdot x=0$$

一个实数要满足这个方程当而且只当它满足下列方程之一：

$$x-{}^{+}3=0 \text{ 或 } x=0$$

满足方程

$$x-{}^{+}3=0$$

的惟一实数是${}^{+}3$，满足方程

$$x=0$$

的惟一实数是 0。因此所给方程的根是${}^{+}3$ 和 0。

检验：

$$\boxed{{}^{+}3}^2-{}^{+}3\cdot\boxed{{}^{+}3}=0 \text{ 和 } \boxed{0}^2-{}^{+}3\cdot\boxed{0}=0$$

解答问题

下面是一些典型问题，它们循自然的途径将我们引向代数方程。在每个问题中，通过找出问题的解集以求答案。当我们找到一个方程的解集，我们就解出了这个方程。

例 1：一个数的 2 倍减去 6 后为 16，求此数？

解：所需的数必须满足开句

$$2\cdot\square-6=16$$

或所需的数必须等价地满足下列的每个开句

$$(2\cdot\square-6)+6=16+6$$

$$2\cdot\square=22$$

$$\frac{1}{2}\cdot(2\cdot\square)=\frac{1}{2}\cdot 22$$

$$\square=11$$

因为满足最后的方程的惟一的数是 11，11 是所需的数，我们可检验这个答案：

检验：$2\cdot\boxed{11}-6=22-6=16$

例 2：一个数的 2 倍减去 10 之后等于此数加 6，求此数？

解：具有上述性质的数必须满足开句

$$2\cdot x-10=x+6$$

或等价地满足下列开句的每一句

$$(2\cdot x-10)+10=(x+6)+10$$

$$2x=x+16$$

$$-x+2x=-x+(x+16)$$

$$(-x+x)+x=(-x+x)+16$$

$$x=16$$

惟一地满足最后的开句的数是 16，所以 16 是所需的数。

检验 $2\cdot\boxed{16}-10=\boxed{16}+6$

例 3：假定汤姆比皮尔多 6 美元，他们共有 12 美元，汤姆和皮尔各有多少美元？

解：假定汤姆有 t 美元，皮尔有 b 美元。因为汤姆比皮尔多 6 美元，得

(1) $t=6+b$

因为汤姆和皮尔共有 12 美元，得

(2) $t+b=12$

方程(1)告诉我们

t 和 6＋b 相等

我们可在方程(2)中以"6＋b"取代"t"

$$(6+b)+b=12$$

因此

$$6+2b=12$$

$$2b=6$$

$$b=3$$

所以皮尔有 3 美元。汤姆比他多 6 美元，得

$$t=6+b=6+3=9$$

即汤姆有 9 美元。

检验 (1) $\boxed{9}=6+\blacktriangle$

(2) $\boxed{9}+\blacktriangle=12$

几何学 GEOMETRY 处理点、线、面和立体及其相互关系的古老的数学分支。特别是，普遍承认几何学为我们提供了：(1)许多图形的准确定义；(2)描绘图形的作图法；(3)有关几何图形的丰富知识和其中最为重要的(4)证明事实的方法。

欧几里得几何学

约在公元前 300 年，几何学就已完全定型了，欧几里得集当时几何知识的大成，加上他本人的创造，编成了共 13 册包括有 465 个命题的书，总称为《几何原本》。该书不但包括平面几何与立体几何，而且其中还有不少今天的代数学、三角学和高等算术。(参见：欧几里得)

多年沿传，这些命题已被重新安排了，许多证明方法都变动了，但在《几何原本》中提出的基本观点并没有变。在该书中，不只是罗列事实，而是有条有理地推演。

甚至远在公元前 300 年，也不只是数学家才懂得几何学。无论是谁，都能从几何学的基本教导中受益，这就是：如何遵循推理过程，如何准确地表达你想说的一切，特别是怎样遵循这些推理过程，来证明一些基本概念。学几何学对所有的学生都是有益的，他们会发现：学理论和令人信服的证明，对每一职业都是不可少的。当然，并非人人都要去证明事物，但都受到“证明”之影响。政治家、广告宣传员及一些其他人，总想设法使人信服其论证。无论何人，如不会辨别论证是好是坏，就会很容易被诱入歧途。几何学为宇宙提供出一简化的图像，其中的点、线都遵循令人信服的规则，且结论都是易证实的。先学会在这一简化宇宙中如何推理之后，人们就最终会通过经验和实践，在复杂的世界中进行推理。

在古希腊，几何学就被公认为教育中不可缺的组成部分。早期的希腊哲学家们曾宣称过：凡未学过几何学的人，不得入学。可当时和现在，都仍有人拒受这种教育。据说，托勒密一世曾问过欧几里得有无学此学科之捷径，而欧几里得的回答则是：并无专给国王铺设的通往几何学的“康庄大道”。这一启示对本文的读者也有效。学习全部几何学，不能单凭本文的这几页。这里所能学到的，乃是几何学中的一些几何图形的基本形状和粗浅的性质。要有教材和通过老师讲授的几何课，才能了解其完整性和条理性及其证明。

点、线和角度

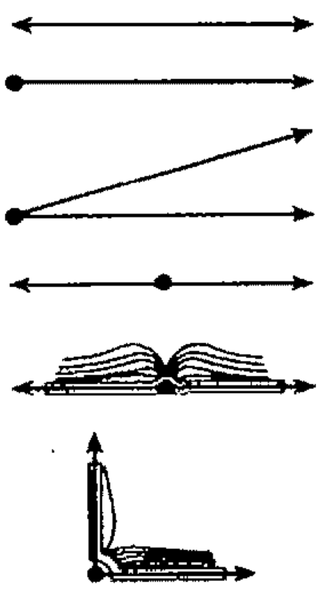
几何图形是由点和线构成的。

在《几何原本》中，欧几里得就从以下两点出发，开始引入一系列的定义：

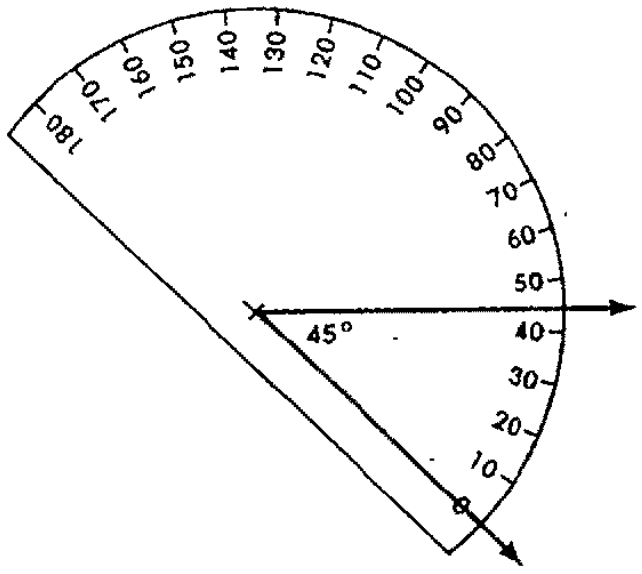
点是没有部分的。

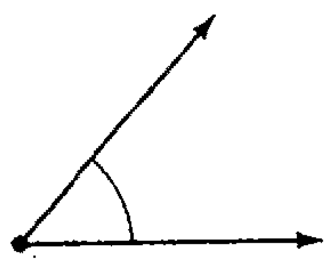
线有长而无宽。

由于他未曾说明“部分”、“长”和“宽”等术语的意义，所以他并没有用更为简单的东西来对这些图形下定义。事实上，点和线实在简单得无法再下完全的定义，但可用两者来定义其他东西。本文中对定义并未作详尽的叙述，因这在几何学教本中会有，但要对它作一简要描述，以表明其间的联系——如何从点到线而再到有关的特定图形。

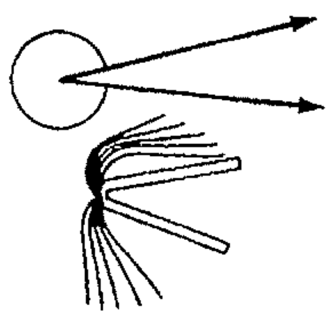


一条直线用箭头来画，表示它可向两方向无限延长而没有端点。而一条射线则是半条直线，它恰有一个端点。两头共具一个端点的两条射线，则形成了一个角。若两射线各自分别为同一直线的一半，则该角为一平角。为便于量度，不妨把平角比做打开而平放在桌面上的书。张开为平角一半的角为直角，它的两条夹边互相垂直。









为了度量较小的角，我们把一直角分成 90 等份，每等

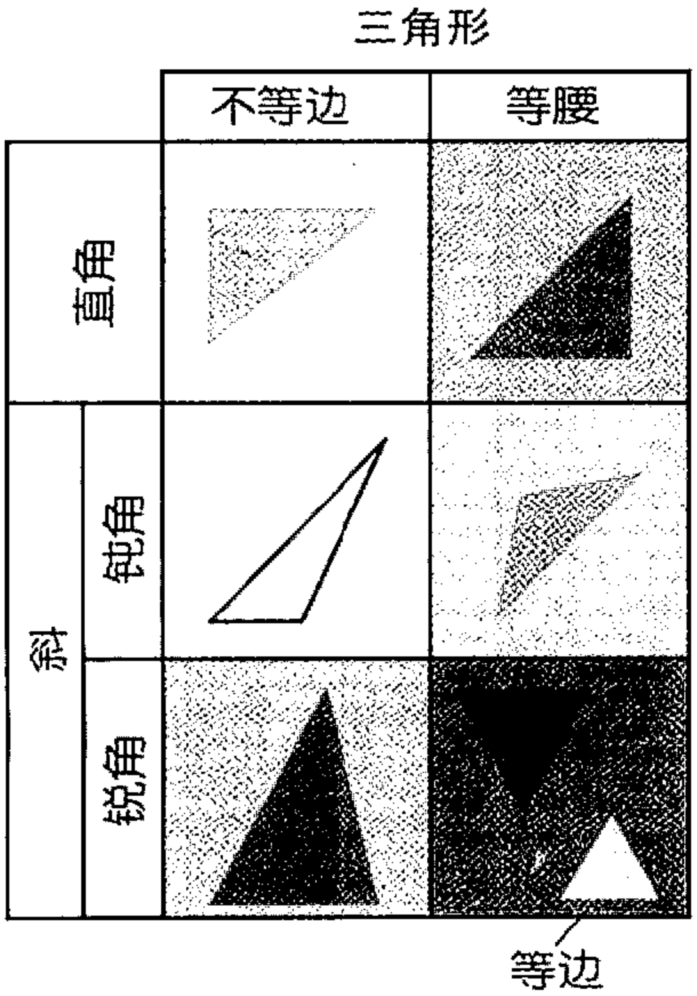
份为1度;因此,直角的一半为45度,写做45°。4个直角拼起来成为360°。

任何一个小于一直角的角为锐角;大于一直角而小于一平角的角为钝角。大于一平角的角为优角。它的两条夹边与另一非优角的是共同的,只是优角是从绕大弯来量的;把书打开340°和打开20°,当然是不相同的。

三角形

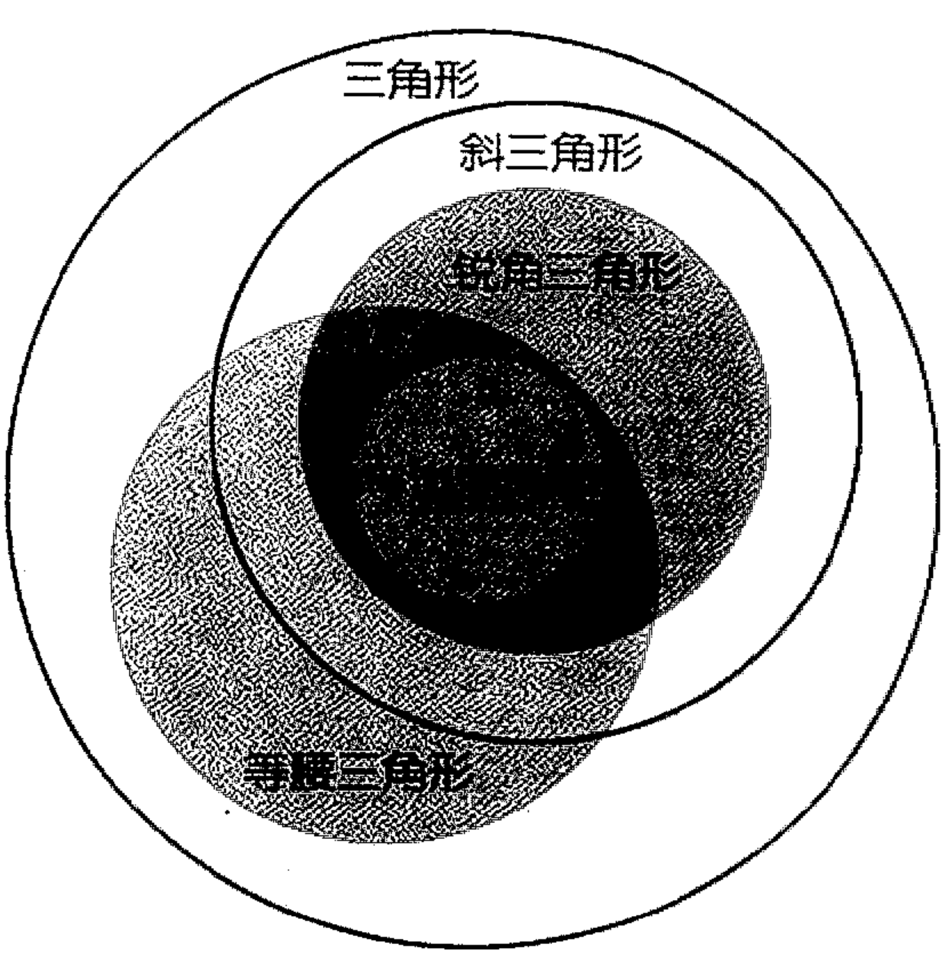
角的两条边都是无尽头的射线,但这种射线可以切成线段,而不改变两射线所夹的角,角便是依此而测得的。线段的长在以下的一系列描述中是很重要的,它从直线引出最特殊的一类三角形。

线段是一条直线的一部分,它有两个端点。折线是一个端点接着一个端点的诸线段所形成的;若折线的头尾两个端点相重合,就成了一条闭合折线,即多边形。有3条边的多边形便是三角形。若一三角形的3个(内)角都不是直角,则为斜三角形;若3个内角均为锐角,则为锐角三角形。若锐角三角形中有两边等长,则为等腰锐角三角形。(任何等腰三角形都有两等长边。)3边等长的三角形则为等边三角形。还有其他有意思的三角形就不在此多说了,不过它们都在下图所列的类目中。



有一个内角为直角的三角形,为直角三角形。斜三角形既可是锐角三角形,也可是钝角三角形(有一个角为钝角)。所有钝角三角形都是斜三角形,锐角三角形也如此。无等长边的三角形为不等边三角形。等边三角形的3条边等长,但这并未取消它的等腰三角形的资格。等边三角形形成了锐角三角形集合中的一个子集。

表示诸如此类的子集的一种精彩的方法,就是用文氏图。每个集或子集用圆或其他形状的图形来代表,如上图中所示。若一圆在另一圆之内,那就是指一个集包含在另一个集之中,如图中的锐角三角形的集,是在斜三角形集之内。两圆相交叠的面积则代表集合之交。



文氏图中的区域所代表的集中,通常含有无限多个元素,如对三角形的情况。我们并未要求区域看上去要和集合成员的本身一样,但对边数比三角形的要多的多边形,就可以用区域形状表示出图形本身以及与它相应的集间的关系了。这点,可由下文的"多边形"图解中看出,它代表了浩大的多边形集的一部分。

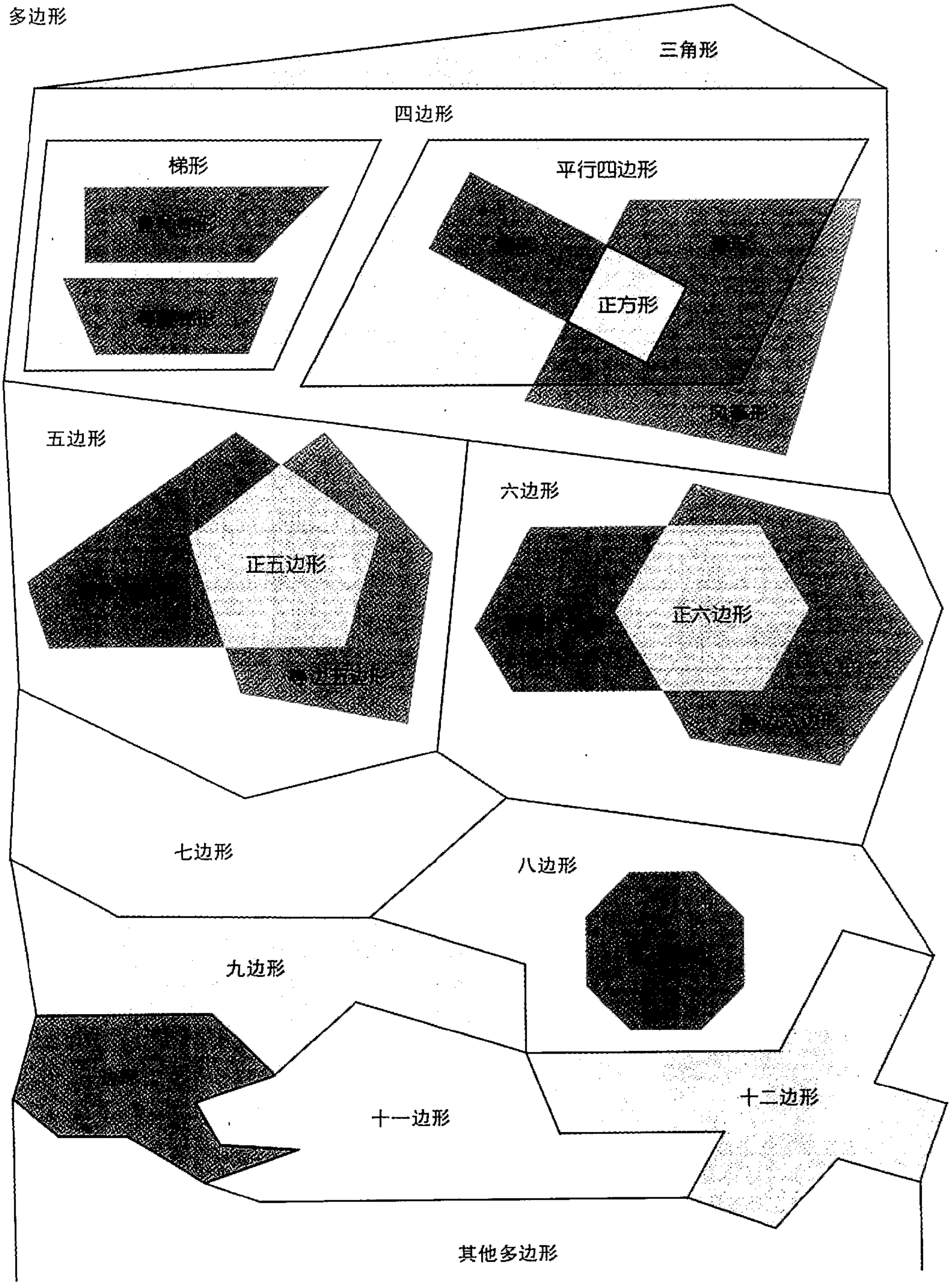
四边形

有4条边的多边形为四边形,或称四角形。四边形存在的形状远比三角形多,但并非所有的四边形都有专门的名称。这就说明了在"多边形"图中的"四边形"内在有专名的填满灰色的多边形外留下了空白。

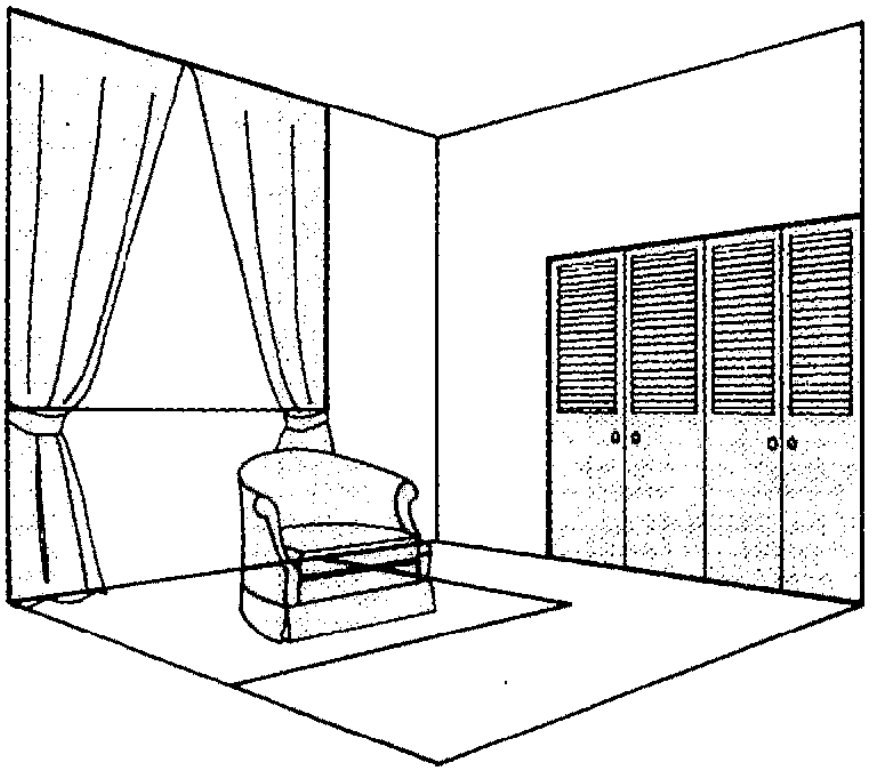
风筝形在几何学书中不常提到,可它却是一种为人所熟悉且喜欢的形状,它有两对等长的相邻边。一平行四边形则有两对相平行的对边。如果既是风筝形也是平行四边形,则它便是一个等边四边形或一菱形。另一种特别的平行四边形便是:有4个内直角的矩形。4内角为直角而4条边又等长的则是正方形,它是矩形、菱形、风筝形和平行四边形中的一个特例。

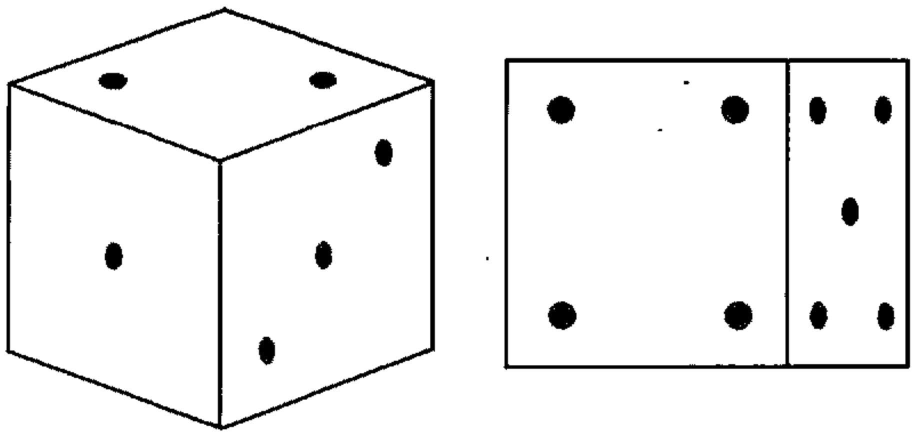
另一族四边形是梯形,它具有一对相互平行的边。可以认为平行四边形是梯形的特例,正像等边三角形为等腰三角形的特例一样。但在此,最好指定只有两条相互平行的边时,才是梯形。如果它的另外两条边等长,它就是一等腰梯形,若它的一个顶角为直角则是一直角梯形。但不能有直角等腰梯形;因若既是直角又是等腰,就成了矩形了。这样它的另外两边也是相平行的,这就完全不是梯形了。

人们常常看到多种多样的甚至还不理解的四边形。虽然做好是正方形的,往往看上去不是正方形。例如,这里是


多边形
三角形
四边形
梯形
平行四边形
正方形
五边形
正五边形
六边形
正六边形
七边形
八边形
九边形
十一边形
十二边形
其他多边形

一张正立方形房间的透视图，其中包括方形门口、正方形窗户和一正方形的地毯。这视景是一现实的图景，就像是相机所摄下的。图中显示出：门口为一等腰梯形，窗帘为两直角梯形，而地面则为风筝形。墙壁显得既非直角又非等腰梯形，而地毯则是一不伦不类的四边形。下面的骰子图，则是正立方体的一个透视，它不如房屋那么逼真，但和实际看到的也相差不多。图中出现的骰面，包括两个矩形，一个菱形和两个平行四边形，但并无正方形，尽管骰面本来是正方形的。





其他多边形

有5个顶角的五边形和6个顶角的六边形，取形比四边形更多；为五边形与六边形的类别命名比四边形更罕见。常用于多于4边的多边形的形容词为：等边（各边都等长）、等角（所有顶角都相等）和正（等边又等角）。这些在多边形图表中的五边形和六边形上都有所显示。

等边、等角和正等形容词，常不用于四边形。对三角形而言，每个等边三角形同时又是一个等角三角形，因此也就是一个正三角形。

七边形共有7个顶角，八边形则有8个，九边形有9个顶角（nonagon）。其余的冠名全用希腊文之数目名称，不过九 nona-却属拉丁文。而用其他的拉丁文冠名的尚有：指四边形的 quadrilateral（有“4条边”的意思）和指三角形的 triangle（是“3个角”的意思）。对四边形，也常用更为一致的四角形 tetragon。有3条边的多角形，则可用像三角学 trigonometry 一词的前半部那样，称为 trigon，与后半部合起来，就成了“三角形测量”的意思了。而十边形、十一边形和十二边形的名称（decagon，hendecagon，dodecagon），也都分别用希腊文的 Deca-（10），hendeca-（11）和 dodeca-（12）为其前缀。

曲线

几何学中要研究多种曲线。其中最引人注意的就是圆。它是和一个固定点（称为中心）都保持有相同的距离（称为半径）的点集。另一不同而有趣的问题则是：取一参考点与一参考直线，而找出距该线为距该点2倍远的点集；或者等效地说就是：距该点为距该线之半的点集。

由于这个问题的充分重要性，因此对该直线、该点和两者间之距离，都有专门的名称。这条线叫准线。该定点称为焦点。动点与焦点的距离同动点到准线的距离之比值，称为离（偏）心率 e。详见以下说明。

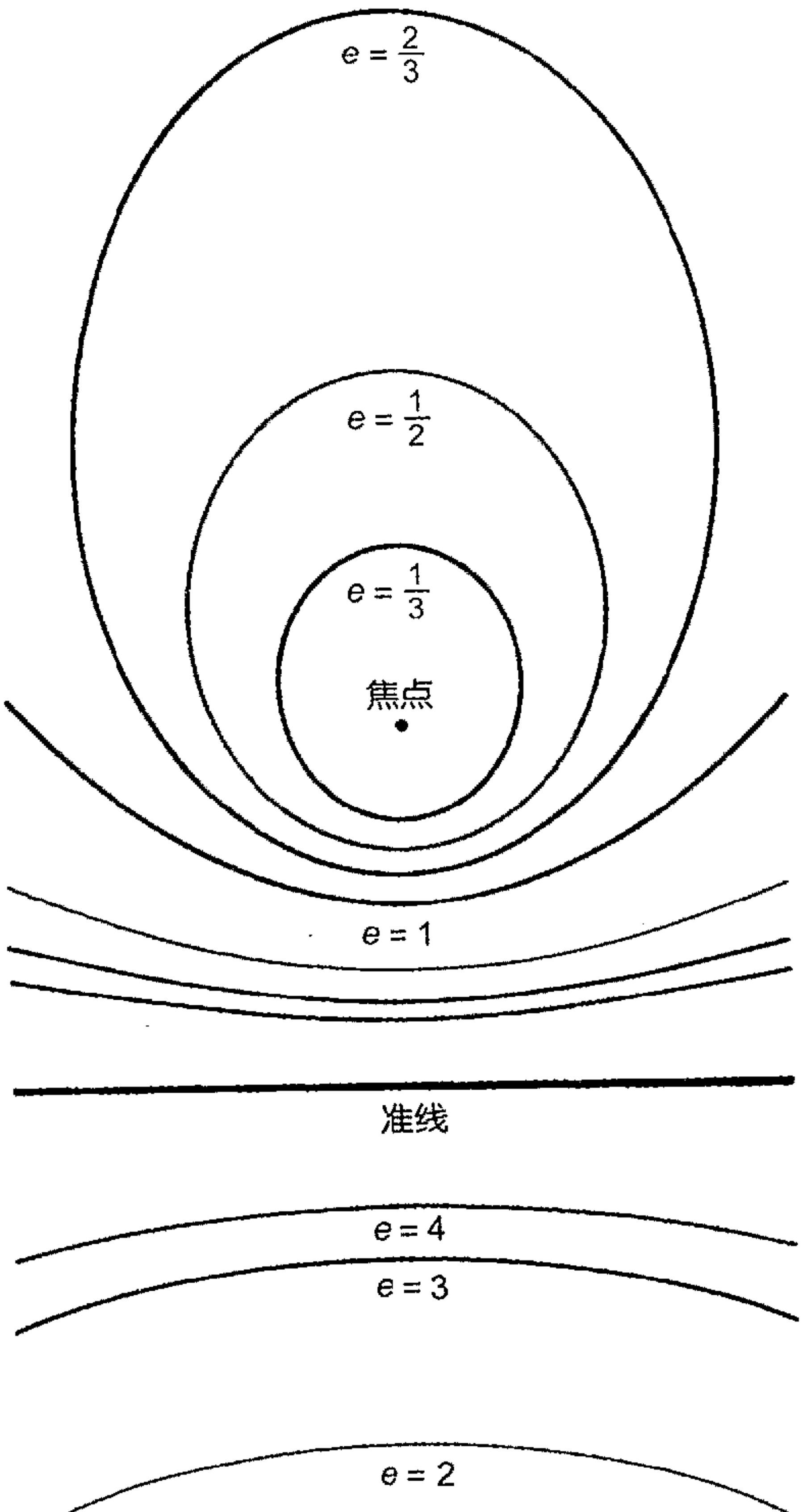
若动点与焦点之距离为其与准线距离的一半，则其离心率 $e=\frac{1}{2}$。与准线的距离是动点对准线的垂直距离。所以用不同的焦点，得出的曲线形状是不一样的。对 $e=\frac{1}{2}$，则产生一卵形线，长与宽相差15%——断非一个圆。这类卵形线称椭圆。因其两半的形状相同，就可认定这曲线有两个焦点和两条准线，一头有一个焦点与一条准线。小的离心率给出更肥的椭圆，而大的离心率给出的则是更窄的椭圆。椭圆的大小，自然会随焦点与准线间的距离变化而变化，但对一定的离心率而言，椭圆的形状总是一样的。

离心率 e 在0与1之间，则产生椭圆。若 e=1，则形成另一种曲线——抛物线，而抛物线上的每点，都与该线的焦点和准线等距离。抛物线根本不闭合，而是两头无限向外伸延，使抛物线一直在变宽。

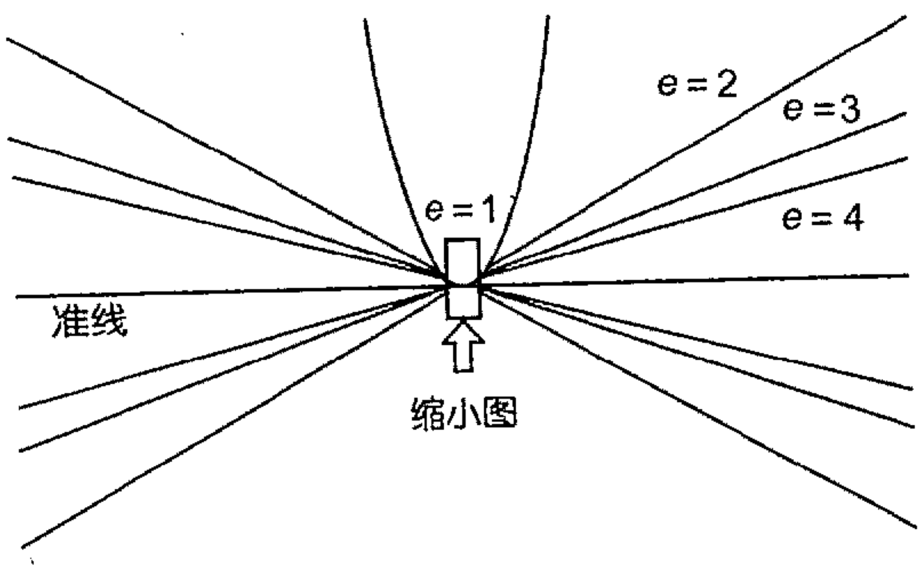
离心率 e 比1大的曲线，就更偏心了。它们含有准线两侧的点，这在小的离心率中是不会有的，因为后者在准线一侧之点到焦点的距离一定比到准线的距离为短。这种由两支曲线组成的曲线就是双曲线。每支曲线都是另一支的镜像；同椭圆一样，双曲线也被看成是具有两个焦点与两条准线的。

双曲线的向外张口与抛物线的大不相同。为表明这点，设想将下面圆锥曲线图缩小到$\frac{1}{30}$。双曲线分别坚持沿四个方向伸展开来。它们颇像一扁平的 X 字母；因为曲线最终是如此靠近这 X 状线，所以称这两条相交直线为该双曲线的渐近线。

抛物线有些像字母 V 的形状，但并不像双曲线那样直伸出去。它并无渐近线，而是一直在弯下去，愈来愈像两条平行线。实在说，抛物线是自成一类的，不过它却很像离心率 e 为0.999的椭圆，或离心率为1.001的双曲线。后两种曲线的另一个焦点离原焦点，要比原焦点离其准线，远1 000千倍。而对抛物线，则可看做其“另外的焦点”系在其左或右侧的无穷远处。

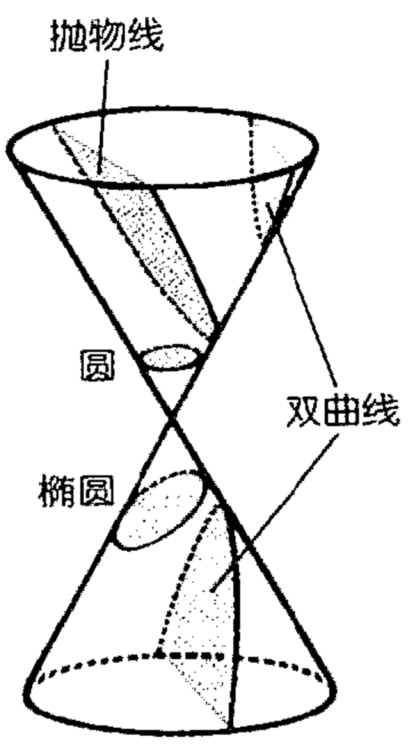


圆锥曲线

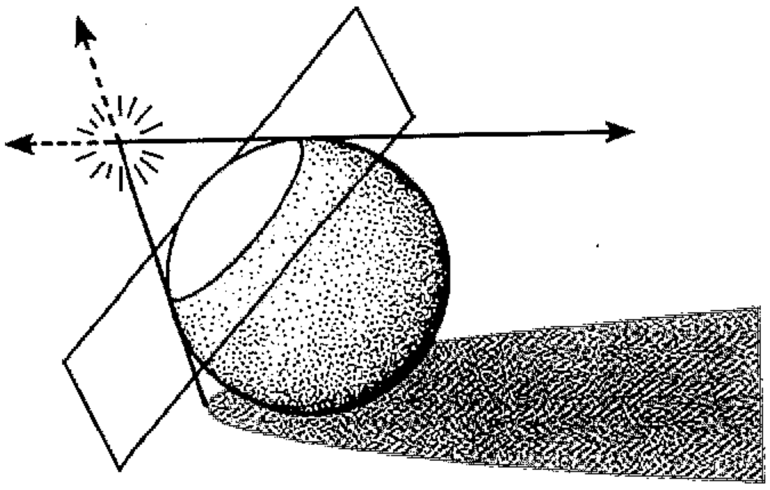


椭圆、抛物线和双曲线——有时连圆也在内——称为圆锥曲线，因为其形状是用一平面从一圆锥面上切出来的。

圆锥曲线也可把与一平面相接触的圆球（如停在地板上的球），用一支细光线照射，而展示其形状。为了做这样的实验，最好用一支摘掉反射器的，或用黑色锥形纸套遮围住的电筒。



平面切割圆锥面时，其交线为圆锥曲线。曲线的种类由平面与该圆锥之间的夹角决定。



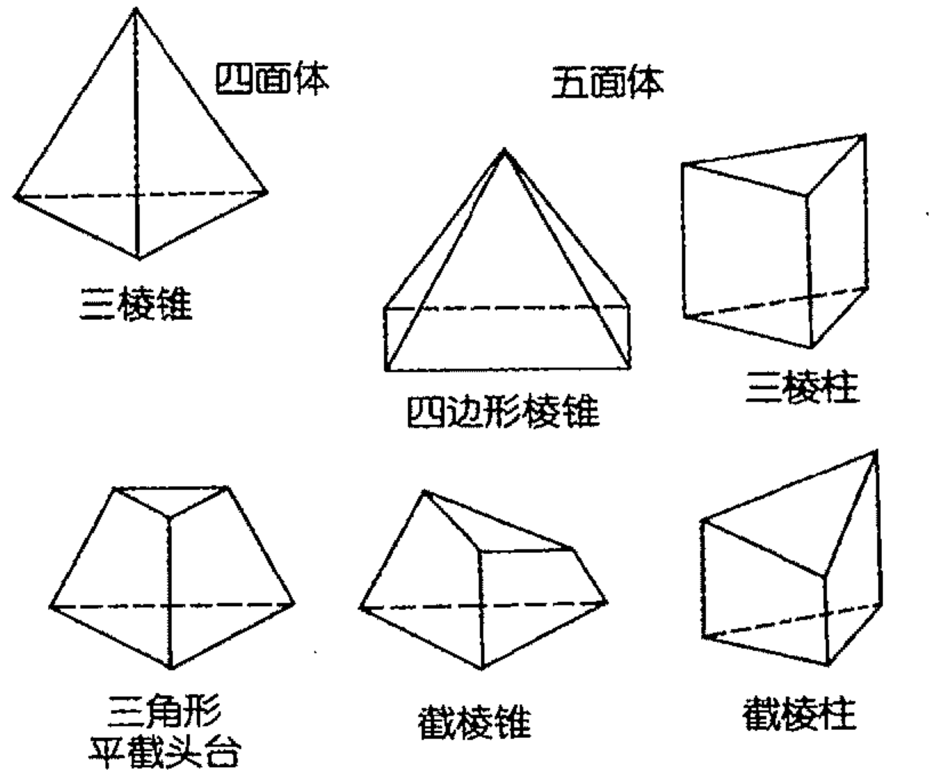
圆球对光的投影，实际上是一黑的立体锥体。此锥体并不可见，但一触地板就成了球的影子。在图上，影子是一无尽头的抛物线。要是光源再往上些，它便接近一椭圆。反之，若是光源往下些，它就张开成一支双曲线了。而双曲线的另一支，则可设想光通过光锥的顶点伸向左方，形成所谓锥的另一叶。对椭圆和抛物线而言，其另一叶则根本就不着地，对于双曲线，其轮廓则形成和影子同样形状的另外一支。

此图与显示有准线和焦点的圆锥曲线的图解直接关连。球与平面的接触点就是焦点。要找准线，则请注意球的本身在照亮的面与暗面之间有个边界。这边界为一圆，而包含此圆的平面和地板平面相交的直线，就是准线。记住了这点，就可想像出各种的球影了。圆就是把光源放在球的顶点的正上方而形成的。这一曲线的准线是消失掉了，因设想到将与地板相交形成准线的平面是和地板平行的——因此没有交线。每种曲线均可由一些不同的圆球来形成，它们形成不同的影锥。球愈小，则要更靠近光源，才能形成合适大小的影子。

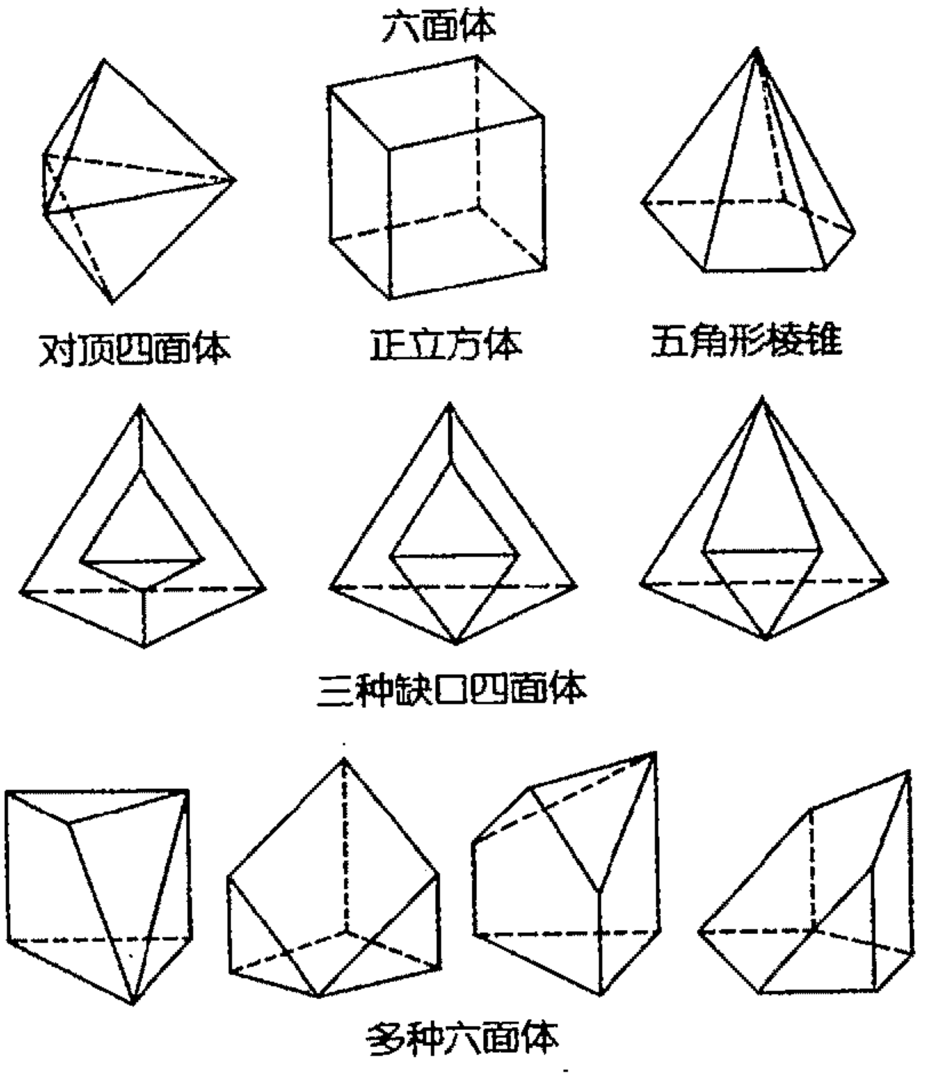
立体

立体几何研究三维的几何图形，如球和锥体等。这些图形具有弯曲的表面。而表面全为平面的立体则为多面

体。像多边(角)形一样,多面体也可用希腊文的前缀来命名。四面体(tetrahedron)就是有 4 个三角形的面。



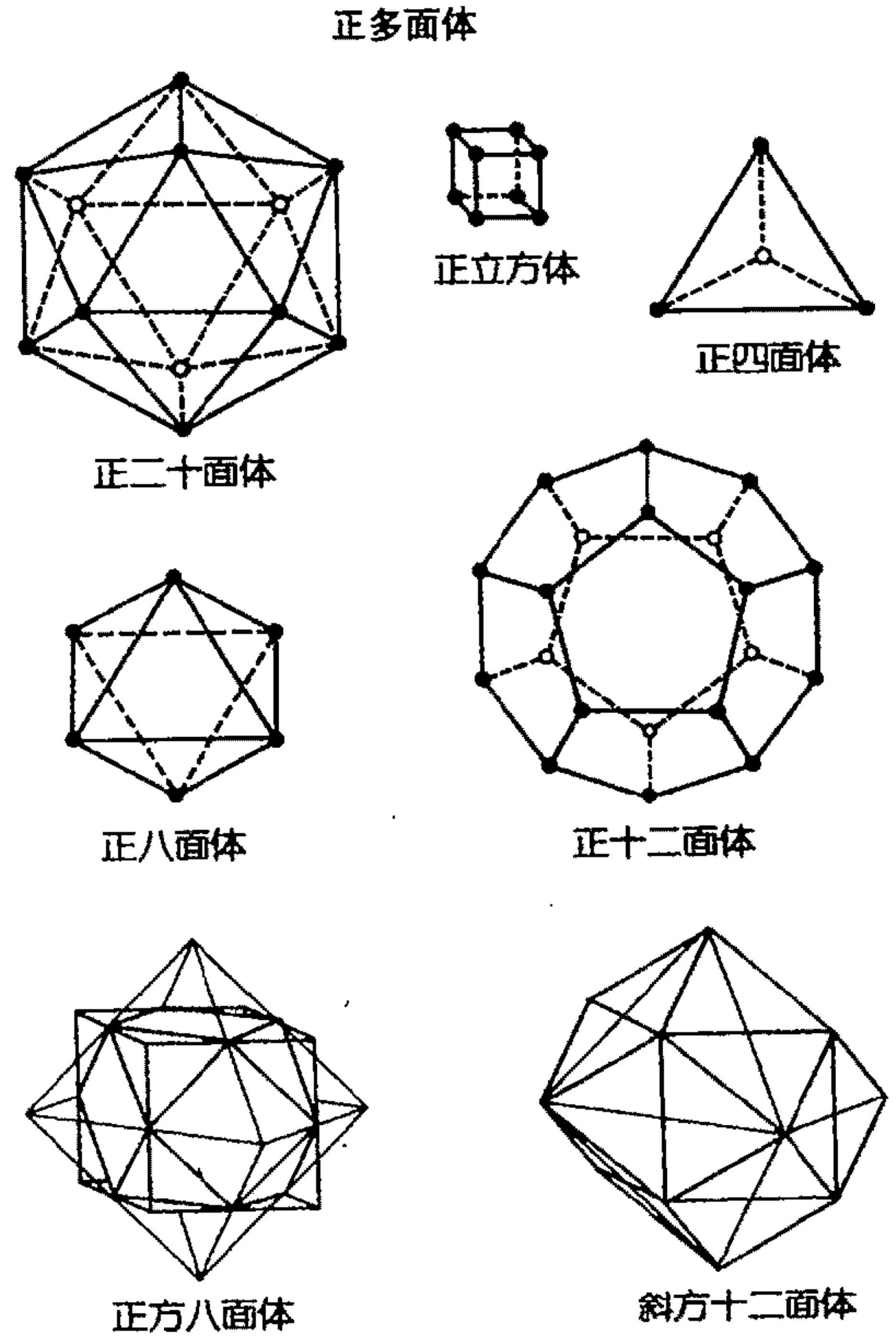
五面体(pentahedron)共有 5 个面,可以是任一四边形为底的棱锥体。还有其他几种五面体。其中有两端面为三角形,而其间有 3 个四边形的五面体。因此,每一这样的五面体有 6 个顶(点)和 9 条边(线段)。如果这些都算作相同的基本五面体的变异,那么就只有两种五面体。



尽管有这样的限制,还有 10 种有 6 个面的六面体。其中有些的边数和顶点数相同,但排列上有所不同。每个六面体能够经畸变变成互不相同的外貌。例如,若切去五面体的一角,在其处产生一新面,则这一新的六面体,尽管仍在这 10 种之内,但看上去像是一种新的六面体。任何一六面体的边数都比其顶角数多 4。

六面体的复杂多样性表明:仅用其面数,是不足以对一立体来命名的。图形要依其他性质来分类,像命名四面体那样。棱柱体和棱锥体是两组重要的多面体,其中哪种都可以任何多边形作底面。把一棱锥的顶,沿平行于底面的方向切去,就成了一平截头锥体。一棱柱或一棱锥都可被不平行于底面的截面切去顶部,而形成新的多面体——截棱柱或截棱锥。

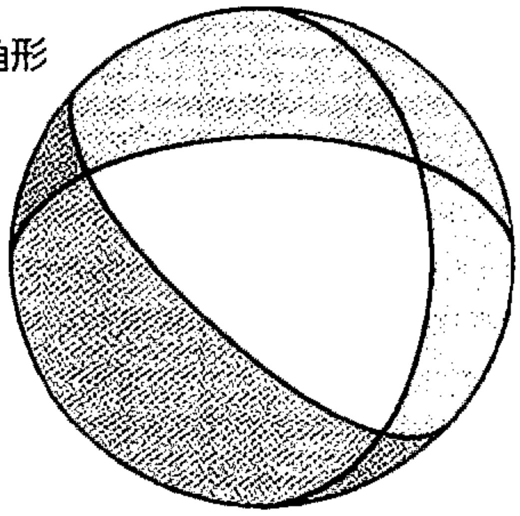
只有 5 种多面体,够得上叫正多面体。其中:有 3 种的面是等边三角形,有一种的面是正方形,另外一种的面是正五边形。对顶四面体——一个四面体在另一个的顶上,属于上述的六面体之一,几乎可以列入正多面体,但它有两种不同的隅角。这 5 种正多面体就是著名的柏拉图体,这是由于早在欧几里得前 100 多年,希腊哲学家柏拉图就对此加以研究了。和欧几里得几乎同时的希腊数学家阿基米德把立体的研究推广到了近乎正多面体,发现它们与正多面体紧密相关。考虑两个例子:立方体和正八面体,其中一个可放入另一个之中,而使每个立体形的 12 条边,都碰到正八面体的各边的中点。在这两个多面体内的公共区域,是一个有 14 个面与 12 个顶点的正方八面体。这两个多面体还构成了一个包含该两体在内的多面体框架;它有 12 个面和 14 个顶点。每个面为一菱形,因此它是斜方十二面体。有时也说这样的多面体是半正则的。



非欧几何学

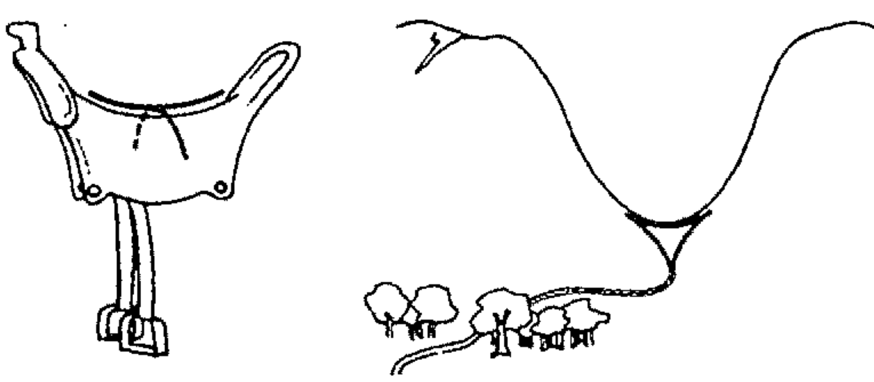
到 19 世纪，有不少人对欧几里得的一个主要前提开始产生疑问，这个前提简而言之就是：两条平行线不管在左右两方向延伸得多远，它们始终保持同一距离而决不相交。德国数学家 B. 黎曼将基本上属于二维的欧几里得几何学扩充成三维或更高维的几何学，其中证明了不存在和一给定直线相平行的直线。这个观念，对后来爱因斯坦发展的相对论至关紧要。（参见：**爱因斯坦**）

球面三角形



球面几何学是 19 世纪中发展起来的另一门几何学，是研究圆、球体、球面及其性质的几何学。球面是一个没有任何棱角的光滑曲面。球面上无法作直线，但可用一圆弧将其上的两个点连接起来，若将此圆弧展伸，它就会绕球面一周而将球分为两个半球。这是在球面上能作的最大圆周，称为大圆。大圆和大圆之间，可形成角度和三角形，以及其他的多边形。其实，直线在平面上能做到的，除了互相平行这点以外，大圆都能在球面上做到。任意两大圆相交于一直径的两个端点。球上的一些小圆（例如，地球赤道上下的纬度线）可以互相平行，但它们并不具备直线的其他性质。

平面几何学在 19 世纪中的另一闻名的发展，就是三角形的三个内角之和为一平角，或 180°。初看来，这好像和平行线的问题无关，但是，若不用平行线的关系则是无法证明的。因此，可预料：球面三角形的三个内角和与平面三角形是不一样的。球面三角形的内角和总是大于 180°的。球面三角形愈大，它的内角和超过 180°愈多。

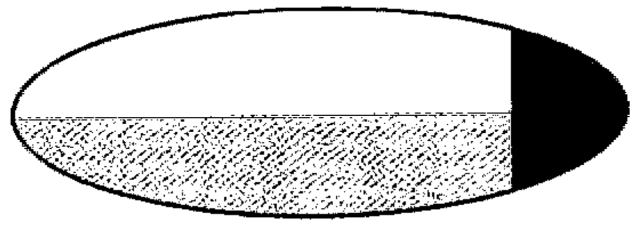


"鞍式"（saddle）几何学，或双曲（线）几何学的发展主要归功于德国数学家 C. A. 高斯；它基于一种曲面，它在两个方向上同时弯曲，有些像马鞍或山口（见上图）。这样的曲面既不能像平面那样无限延伸，也不能像球面那样简单地与其本身相遇。画在一鞍状山口处的三角形的内角和是不到 180°的。由上图表明：天然岩壁的形成，正如鞍式几何学中的三角形。在球面几何学中无平行线，但在鞍式几何学中，过一点可以作许多平行于同一直线的直线。（参见：**高斯**）

1975 年，波兰数学家 B. 曼德布罗特引进了分形几何学，来描述像海岸线、雪花（片）和树枝——都不能用欧几里得几何学来描述的图像。曼德布罗特创造的分形或分维 fractal 这一词，表示一些复杂的几何形状。这词是从拉丁词 fractus 导出的，原意是"支离破碎"，并指这些图像是自我相似的——它们的各个组成部分形如整体。他阐明自然形成物有在更小的范围上重复其自身的趋势，因此放大了的组成部分，其形状就与整体形状基本相同。这一几何学已用在生物学、化学和力学等领域中了。

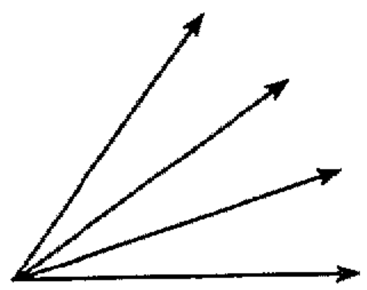
作图

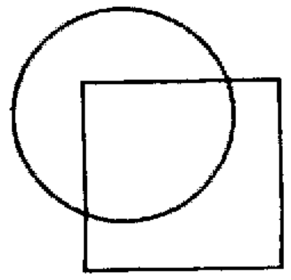
在本文的示图中，点和线借助黑、白和灰来表示，这有助于显示其间的关系。但这种表示法并非现实。线是无粗细也无颜色的。这里是一较近真实的图像：灰色区与白色区的分界线既非灰也非白色，它并无粗细；它很像是一真正的直线。此线的进入黑色区域之处则很像一真正的点，它全无大小。为对日常计算更实际起见，我们就用圆点来代表点，而黑道或有颜色的道来代表线。虽然，这样图解仍不够确凿，但却可用来作确切的推理。

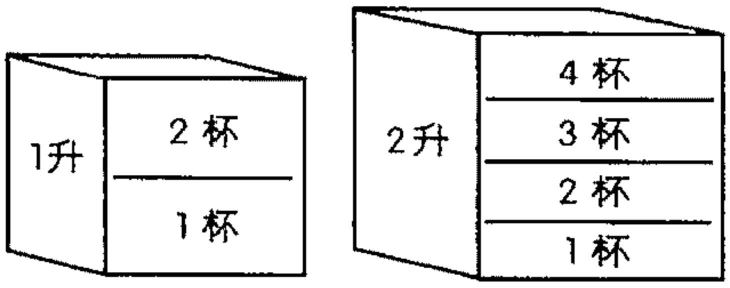


绘图工具 即绘图仪器。绘计划图表、机器设计图或其他工艺结构图的绘图员，必须具备相当的几何知识和专门的绘图工具，才能完成制图这项工作。欧几里得证明，每个几何形都能通过运用以下两条规则绘出：（1）两点之间，只能作一条直线，与（2）以一定点为中心和给定的线段为半径，只能作一个圆。由此设想出绘图的两种基本工具：一无刻度的直边尺——划线用，而不是量线的长度——和一简单的圆规——画各种大小的圆。这些工具足够应付从作一定长线段，到作一面积和任意多边形相等的正方形等作图题。

经典几何的三大难题 几何学家遇到了经典几何学中的三大难题，即：三等分一任意角，化圆为方以及倍立方等三个问题。要作一角为另一角的 3 倍是很容易的，但将一个大角分成 3 个相等的小角便是一件难事了。另一个为：作一与圆面积相等的正方形，这也无论如何都做不到。对第 3 个问题，也无人能用作图法作出一体积为另一立方体 2 倍的立方体。若一立方体的边长加倍，其体积则是原来的 8 倍，而不是 2 倍。







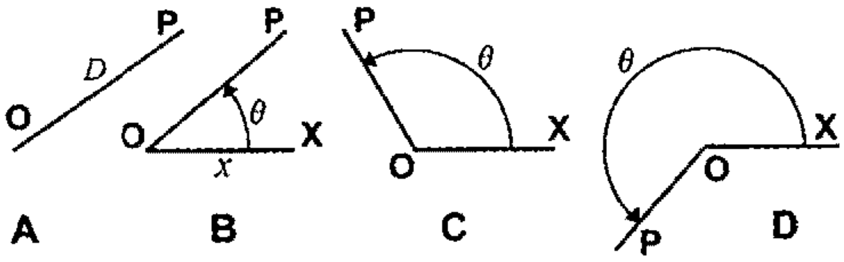
多世纪以来，这三个问题一直在困扰着数学界。为了找答案，数学家们曾用了很多门数学及做了不少有意义的研究，特别是涉及无理数的领域（见：命数系统和数）。直到19世纪后期，才由数学家们一劳永逸地解决了"用圆规和直尺之所能与所不能"的问题，并证明了这三大问题实际上已超出这两工具能力之所及。不过，不能用传统的几何工具来对此作图，并非意味着这三个问题不能解出。

三角学 TRIGONOMETRY

金字塔的建造和现在的雷达及氢弹的设计制作，似乎毫无共同之处。但某些数学原理却深入到所有这样的活动中，因为这些原理乃是物理世界的一些基础。三角学就是一门用途很广的数学分支。

三角学是由希腊文的 trigonon（三角形之意）与 metron（测量之意）两字组成的。如果我们以 1 个点（O）为参考而设法定出平面上一个点（P）的位置，这个问题的性质就会显出来了。

图 1

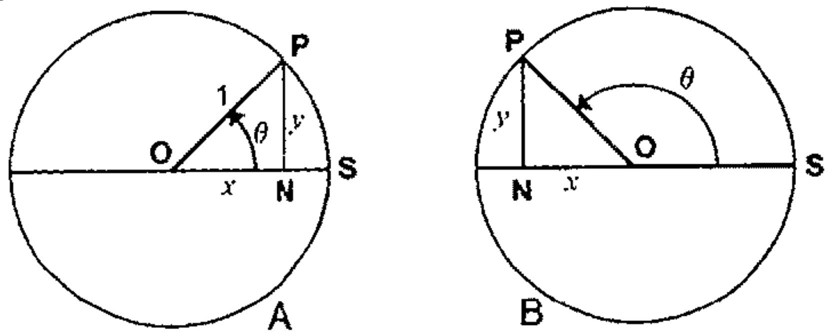


从 O 点到 P 点的距离 D 可简单地沿 OP 直线来测长而得到（图 1，A）。要想从 O 点得出方向，则需有另外一个量。一种简单的方法就是作另一条任意直线（OX），通常如所示的向右展伸。这样角θ（图 1，B）和 OP 的长度既定下了 OP 对 O 的方向，又定下了 P 对 O 的距离。这方法可定下平面上任何一点的位置。

造金字塔中所用的经验规则，就是基于以上的定点的位置与量距离的方法。而土地测量、跨河测距和计算山高——就是这些规则在近代的应用。

当交流电得到了应用后，三角测量的知识为这种新动力的研究，提供了一个理想的数学基础。因为电路中电流

图 2



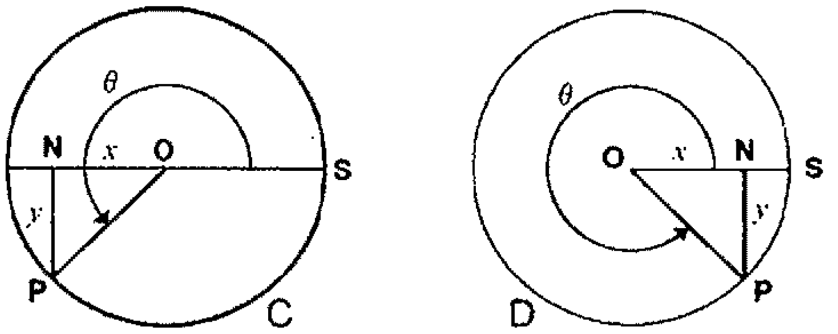


图 3

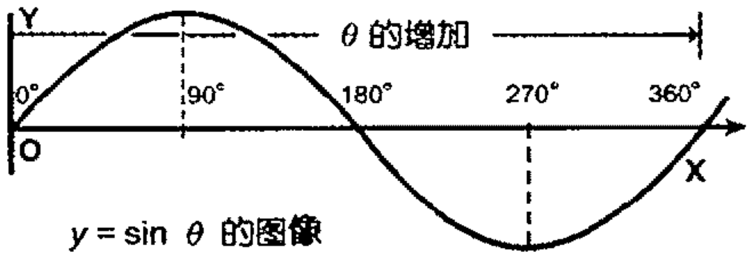


图 2 表明：当一点 P 绕圆作旋转时，是如何以一直角三角形确定任一点 P 的位置的。

的来回振荡，是属于一种周期运动——也就是，它们周期性地一再重复，如钟上的指针所作的圆周运动那样。图 2 的 A 到 D 提示为什么三角形的测度能描述这类运动。

圆周运动的三角测量

图 2 表示对圆周运动如何来作三角测量。假设有一点（P）从位置 S 出发，按逆时针方向沿单位长半径（r＝1）的圆周旋转。若θ为半径 OS 和 OP 在 P 的任何位置时所成的角度，则当 P 点在起点 S 的位置时θ值为 0；当 P 保持沿逆时针方向运动时，θ值将不断增加。若认为可以数过一圈，则θ值将超过 360°。这样，θ就会有像 540°（1 圈半）、720°（2 圈）等值。

现在注意直线段 PN＝y（图 2）在 P 绕圆运动时的变化。当直线段 OP 与线段 OS 重合时，线段 y 的长度为 0。当 P 在运动时，y 值在增加，一直到θ＝90°为止。当θ大到θ＝180°时，y 值复为 0。当θ大过 180°，从 N 到 P 的方向改变而使 y 值为负。在θ＝270°处，线段 PN 之值为负 1（y＝－1）。当θ值再增加，y 值就会回到 0。

此后当 P 又走了一圈时，则 y 值又会出现重复的变化，θ值则越过 360°而继续增加。因此，变量 y 是θ的周期（不断重复的）函数。（若点 P 沿顺时针方向运动，则θ应视为负值，而造成 y 值变化的反转。）

正弦的意义

对任一给定的θ值，线段 y 的长度称之为角θ之正弦（简写做 sin）。通常将此事写做 y＝sinθ。从一个列有 y 值和θ值的表上可看到：y 值和θ值，从θ＝0°到θ＝360°，是如何一一配对的。这也可以作一图线来表示。

图 3 表示θ角增加或减小时，sinθ值在±1 间振动，正像图 2 中线段 PN 在此两值间振动一样。

图 4

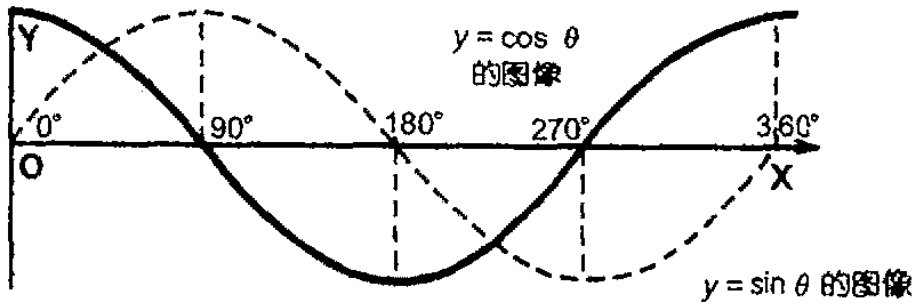


图 5

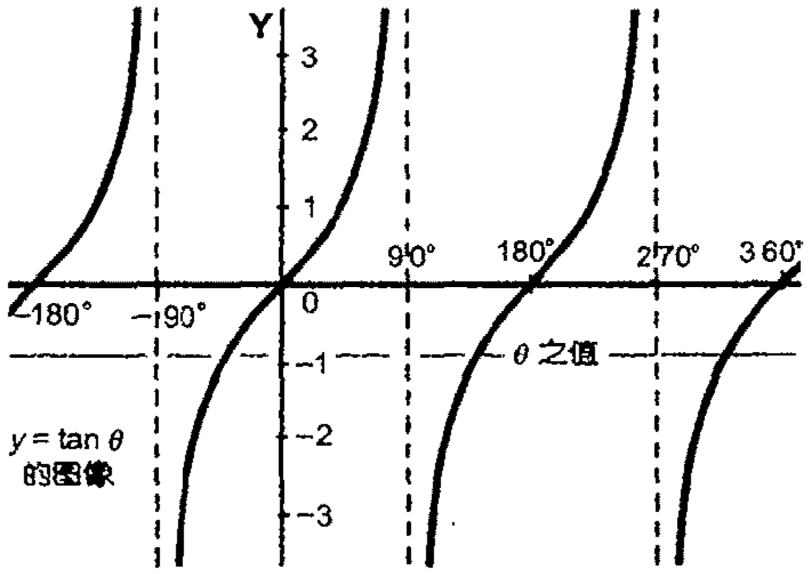


图 6

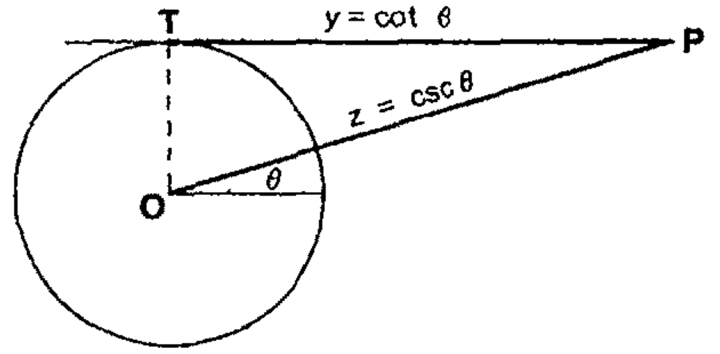


图 7

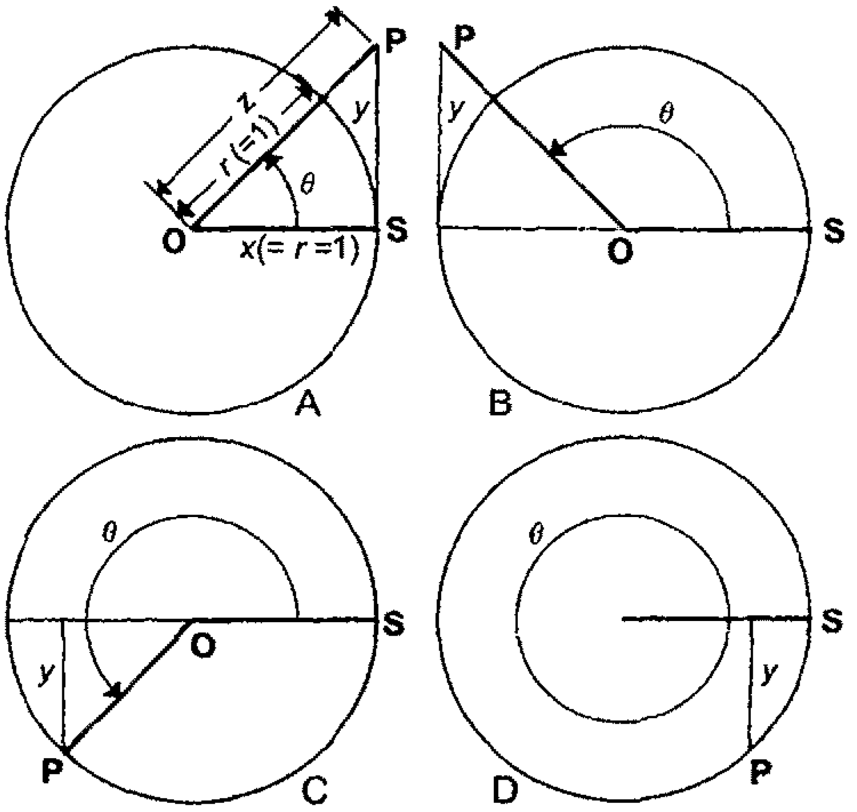
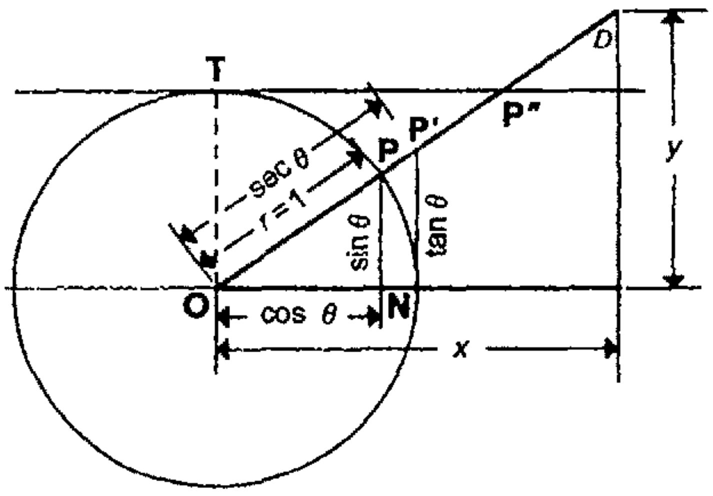


图 8



余弦、正切和三角关系

如果对图 2 中直线段 ON=y 相应值进行考查并作图，则其曲线将如图 4 中(实线)所示。对一给定θ 角的 ON 长度值称为该θ 角的余弦。将其简写为 y=cosθ 。

现应注意到：曲线 y=cosθ 和 y=sinθ 的形状、大小完全一样(在图 4 中重画出 y=sinθ 曲线，以便和曲线 y=cosθ 作比较)；但余弦曲线要向右移过 90°，才能与正弦曲线完全相重合。从图中的图线还可看出：θ =360°是使 sin (θ +P)=sinθ 与 cos(θ +P)=cosθ 的 P 的最小值。因此正弦和余弦函数的周期都是 360°。

以上曲线的起伏与交流电每一流向中的电压变化密切对应。因此，这种电流的(变化)图形可用正弦曲线来表示。

正切函数和正割函数

图 7 中所示的是θ 角的另两个三角函数。直线段 PS=y 代表θ 角之正切 (y=tanθ)，而线段 OP=Z 则代表θ 角之正割(z=secθ)。

P 点是延长半径与过圆上 S 点的切线的交点。当θ 值从 0 向 90°增加时，y 值便从 0 增至很大的正值(+∞)。θ 在 90°时则无 y 值与之对应，因为此时 OP 线与过 S 点的圆切线相平行而两者无交点。当θ 值从 90°增至 180°时，y 值则从 −∞ 增至 0；θ 再从 180°增大，y 值则从 0 到 +∞。在θ =270°时，则 y 又无定义，因 OP 与切线平行。当 OP 过 270°后，y 值则又从 −∞增至 0。这些值的变化如图 6 中所示。

通过θ 值的变化来看 OP 长度的变化，则得出了函数 y=secθ (θ 的正割)的图线(见图 9)。图 6 中表示出θ =180°是使 tan (θ +P)=tanθ 可能的最小值。因此，正切函数的周期是 180°，而若 P(周期)为 360°，则 sec(θ +P)=secθ 。

在单位圆 90°的一点作圆的切线，延长而与作θ 角的半径的延长线相交，则可给出θ 角的余切(cot)和余割(csc)来(见图 7)。

这些三角函数的图线则见图 10 和图 11。余切的周期为 180°，而余割的周期则为 360°。

三角恒等式　有些关系式对任意角的三角函数都成立。这些对所有角都成立的关系式便叫(三角)恒等式。不少三角恒等式可从图 8 中导出。例如：$\sin^2\theta+\cos^2\theta=1$；$\sec^2\theta-\tan^2\theta=1$。

直角三角形问题　可将三角函数直接用到直角三角形，如图 8 中所示。这些边角关系式有：

三角函数表

θ	sin	cos	tan	cot	sec	csc	
0°	0.000	1.000	0.000		1.000		90°
1°	.018	1.000	.018	57.290	1.000	57.296	89°
2°	.035	.999	.035	28.636	1.001	28.648	88°
3°	.052	.999	.052	19.081	1.001	19.105	87°
4°	.070	.998	.070	14.301	1.002	14.337	86°
5°	.087	.996	.088	11.430	1.004	11.469	85°
6°	.105	.995	.105	9.514	1.006	9.567	84°
7°	.122	.993	.123	8.144	1.008	8.206	83°
8°	.139	.990	.141	7.115	1.010	7.185	82°
9°	.156	.988	.158	6.314	1.013	6.392	81°
10°	.174	.985	.176	5.671	1.015	5.759	80°
11°	.191	.982	.194	5.145	1.019	5.241	79°
12°	.208	.978	.213	4.705	1.022	4.810	78°
13°	.225	.974	.231	4.332	1.026	4.445	77°
14°	.242	.970	.249	4.011	1.031	4.134	76°
15°	.259	.966	.268	3.732	1.035	3.864	75°
16°	.276	.961	.287	3.487	1.040	3.628	74°
17°	.292	.956	.306	3.271	1.046	3.420	73°
18°	.309	.951	.325	3.078	1.052	3.236	72°
19°	.326	.946	.344	2.904	1.058	3.072	71°
20°	.342	.940	.364	2.748	1.064	2.924	70°
21°	.358	.934	.384	2.605	1.071	2.790	69°
22°	.375	.927	.404	2.475	1.079	2.669	68°
23°	.391	.921	.425	2.356	1.086	2.559	67°
24°	.407	.914	.445	2.246	1.095	2.459	66°
25°	.423	.906	.466	2.145	1.103	2.366	65°
26°	.438	.899	.488	2.050	1.113	2.281	64°
27°	.454	.891	.510	1.963	1.122	2.203	63°
28°	.470	.883	.532	1.881	1.133	2.130	62°
29°	.485	.875	.554	1.804	1.143	2.063	61°
30°	.500	.866	.577	1.732	1.155	2.000	60°
31°	.515	.857	.601	1.664	1.167	1.942	59°
32°	.530	.848	.625	1.600	1.179	1.887	58°
33°	.545	.839	.649	1.540	1.192	1.836	57°
34°	.559	.829	.675	1.483	1.206	1.788	56°
35°	.574	.819	.700	1.428	1.221	1.743	55°
36°	.588	.809	.727	1.376	1.236	1.701	54°
37°	.602	.799	.754	1.327	1.252	1.662	53°
38°	.616	.788	.781	1.280	1.269	1.624	52°
39°	.629	.777	.810	1.235	1.287	1.589	51°
40°	.643	.766	.839	1.192	1.305	1.556	50°
41°	.656	.755	.869	1.150	1.325	1.524	49°
42°	.669	.743	.900	1.111	1.346	1.495	48°
43°	.682	.731	.933	1.072	1.367	1.466	47°
44°	.695	.719	.966	1.036	1.390	1.440	46°
45°	.707	.707	1.000	1.000	1.414	1.414	45°
	cos	sin	cot	tan	csc	sec	θ

图 9

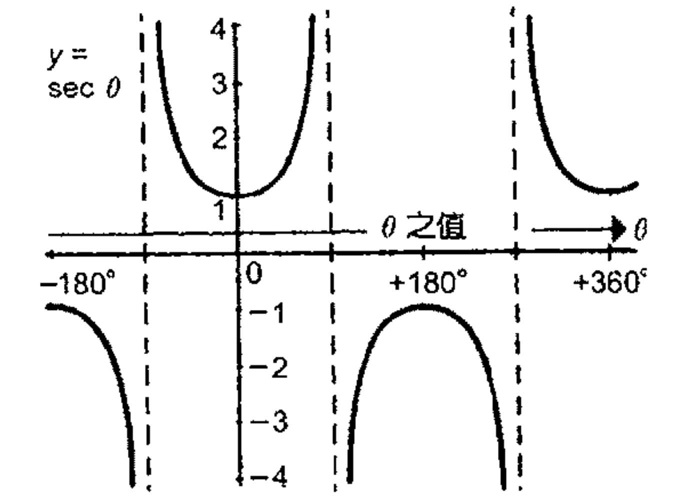


图 10

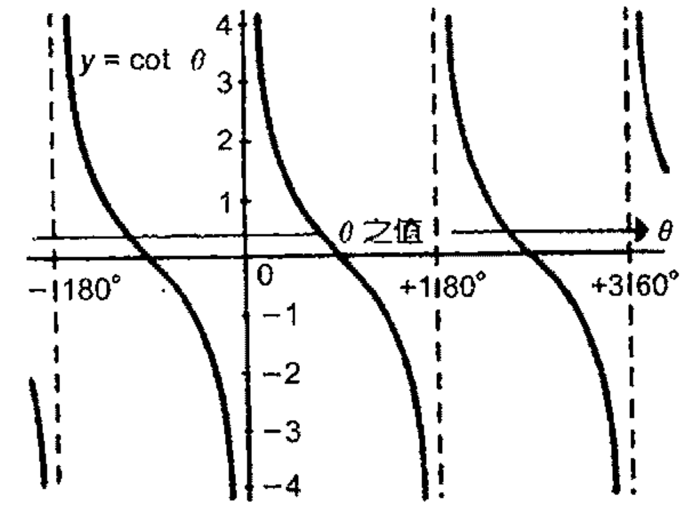
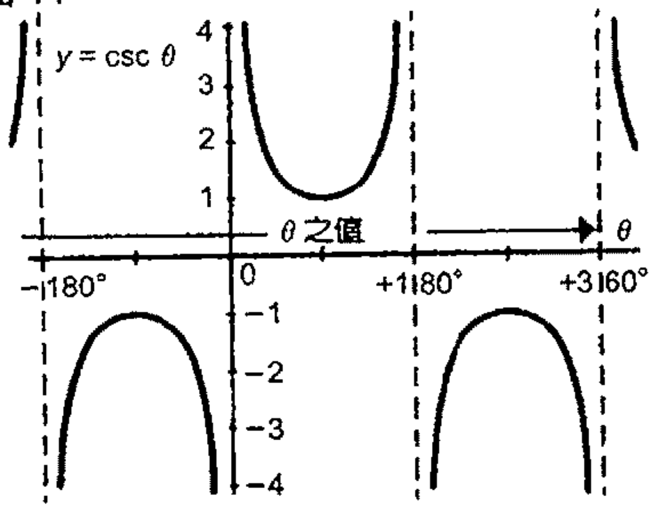


图 11



三个不连续函数的图像

$$\sin\theta=\frac{NP}{1}=\frac{y}{r}=\frac{\text{对边}}{\text{斜边}}$$

$$\cos\theta=\frac{ON}{1}=\frac{x}{r}=\frac{\text{邻边}}{\text{斜边}}$$

$$\tan\theta=\frac{\sin\theta}{\cos\theta}=\frac{y}{x}=\frac{\text{对边}}{\text{邻边}}$$

$$\cot\theta=\frac{\cos\theta}{\sin\theta}=\frac{x}{y}=\frac{\text{邻边}}{\text{对边}}$$

$$\sec\theta=\frac{1}{ON}=\frac{r}{x}=\frac{\text{斜边}}{\text{邻边}}$$

$$\csc\theta=\frac{1}{NP}=\frac{r}{y}=\frac{\text{斜边}}{\text{对边}}$$

若干三角关系式

这些公式对解一些三角形有用。

和差角公式

$$\sin(A\pm B)=\sin A\cos B\pm\cos A\sin B$$

$$\cos(A\pm B)=\cos A\cos B\mp\sin A\sin B$$

$$\tan(A\pm B)=\frac{\tan A\pm\tan B}{1\mp\tan A\tan B}$$

倍角公式

$$\sin2A=2\sin A\cos A$$

$$\cos2A=\cos^2A-\sin^2A$$

$$\tan2A=\frac{2\tan A}{1-\tan^2A}$$

半角公式

$$\sin\frac{A}{2}=\pm\sqrt{\frac{1-\cos A}{2}}$$

$$\cos\frac{A}{2}=\pm\sqrt{\frac{1+\cos A}{2}}$$

$$\tan\frac{A}{2}=\pm\sqrt{\frac{1-\cos A}{1+\cos A}}$$

微积分学 CALCULUS

在科学上，我们遇到的许多数量，都是在变化的。钢溶液注入钢坯后，即开始降温。每隔不到1秒钟，都可测出一培养液中的细菌数的变化。同样，行星沿绕太阳的轨道飞速运行时，其方向也在随时变化。

在这些事例中，我们得要知道其中的变化率。还要知道由变化率得出的一段空间或时间中的总变化程度。这些问题的解法确定了为曲线所包围的面积，或为曲面所包围的体积的大小——这往往不能用算术或代数解出。

设法处理这类问题的数学方法，就构成了微积分学，简称微积分。(Calculus 与 calculate 二词均来源于拉丁文“石子”。按古代习惯，解算术问题时用石子来计数。)下文以一简例，说明微积分中所用的基本观念与术语。

微积分中使用了函数与变量

以其半径来表示的圆球体积(V)的公式为：$V=\frac{4}{3}\pi r^3$。

这个公式给出 V 与 r 间的明确关系，因为对每一任意 r 值都确定了一 V 值。例如，若 r=3 厘米，则 V=36π 立方厘米。因此，可认为 V 值是依赖于 r 值的。为表明这一观念，我们就说：V 是 r 的函数。

在这公式中，r 和 V 均属变量或变数，因两者可各有不同的值。可任意指定其值的变量叫做自变量；其值由另一可任意指定的变量(即自变量)来确定的变量为因变量。

若已知表示诸变量间关系的公式，就称这种关系为函数。但函数关系并不一定由一代数式给出。它可由相应量的数值表或一曲线图给出。

从用其半径 r 来表示的球体积 V 为$\frac{4}{3}\pi r^3$这一事实，可用函数记号 V=f(r)来表示。一般，说 y 为 x 的函数可简写为 y=f(x)。“f”代表定义此函数的各项。因此，由于 V=f(r)和 $V=\frac{4}{3}\pi r^3$，我们便可将 f(r)与$\frac{4}{3}\pi r^3$互换。

符号 y=f(x)可用来方便地表明：对象 y 的值可以对应于 x 之值。例如，若 $y=x^2-5x+6$，则可写作 $y=f(x)=x^2-5x+6$。

若要找出相应于 x=2 的 y 值，则可将上式中的 x 换为

2。这样就得到 $y=f(2)=4-10+6=0$。若要求出半径为3厘米的球体积，则将公式 $V=f(r)=\frac{4}{3}\pi r^3$ 中的 r 代之以 3，而得到 $V=f(3)=\frac{4}{3}\pi\cdot 3^3=36\pi$ 立方厘米。

函数的图形

函数也可用图线来表示。这就要用到如图1所示的坐标系了。

令 X′X 为一水平的实数直线，它的正方向是向右方的。Y′Y 则是与前者相垂直的另一实数直线，以这样的两线的交点为两者的原点。令 Y′Y 线的正向是朝上的。X′X 线称做 X(坐标)轴，而 Y′Y 线则为 Y 轴。两线合称为坐标轴。两线交点 O 则为坐标系的原点。

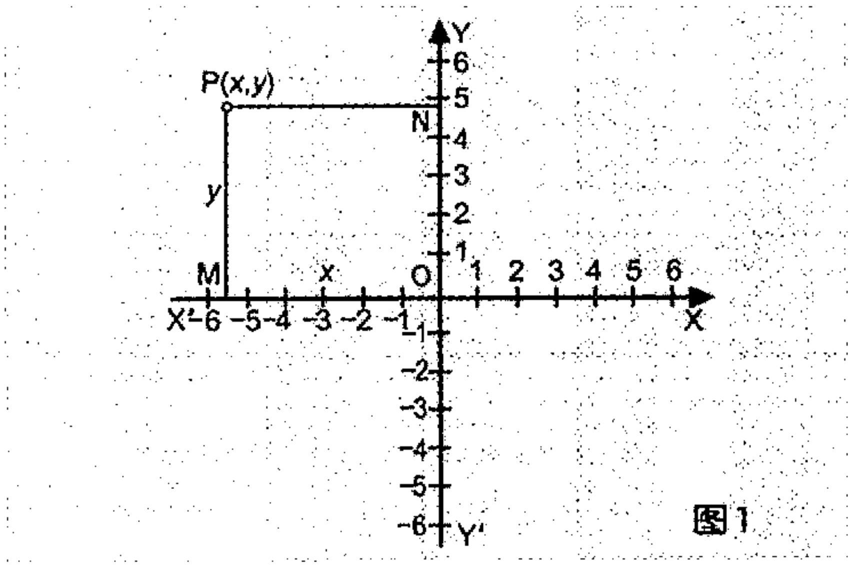


图1

令 P 为平面上的任一点。从 P 点向 X 轴作一垂线，它与 X 轴相交于 M 点而对应于数 x，称为 P 点的横坐标。又从 P 点作一垂线到 Y 轴，它与 Y 轴交于 N 点，对应于数 y，称之为 P 的纵坐标。x 和 y 统称为 P 点的直角坐标。为表示 P 的坐标为 x 和 y，将其写做 P(x,y)，或称点(x,y)。

当函数 $y=f(x)$ 中的 $f(x)$ 为一代数式时，得先从该式作出一对对的(x,y)的数值表，就可画出在平面上的相应点。我们选择表中合适的一些数对画出相应的点。然后，连接诸点而画得曲线，它便是代表函数 $y=f(x)$ 的图形。今以画出 $2x^2-5x+7$ 曲线为例来说明本方法。若 $y=f(x)=2x^2-5x+7$，求出对不同 x 值的相应函数值如下：

x	y
-2	25
-1	14
0	7
1	4
2	5
3	10
4	19
5	32

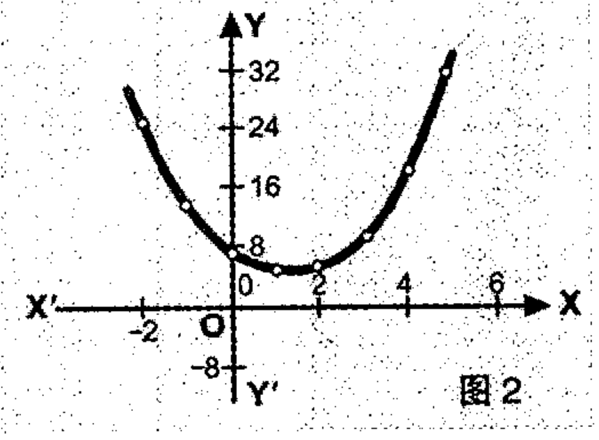


图2

画出这些点便能确定一曲线。把这些点按大小顺序连接起来，就得到图2中所示的曲线。

解析几何的特征

在平面几何学中，解题要用作图法和几何推理。但在上面说过的坐标系中，往往可用比几何推理容易的代数法，来解几何问题。这样，就把代数与几何结合为一体了。这个领域便是解析几何学。

在解析几何学中，像"点"、"距离"、"线"、"角"等几何概念以及像曲线那样的几何图形，均用代数符号、表达式和方程等方式来表示。于是，就出现了几何-代数的对照表。以下是这种表中的几条。

几　何	代　数
点	(x,y)
两点间之距离	$\sqrt{(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2}$
一直线段之斜率	$\frac{y_2-y_1}{x_2-x_1}$ 或 $\tan\theta$
过一定点而有一定斜率的直线	$y-y_1=m(x-x_1)$
过两定点的直线	$\frac{y-y_1}{x-x_1}=\frac{y_2-y_1}{x_2-x_1}$

微分学

在代数学和解析几何学领域中，都研究函数。这些数学分支，对许多涉及变化率的问题不能作出满意的解答。这些问题是：怎样最好地描述汽车行驶的快慢或热物体的冷却？真空管的板极电流如何随其栅极电压而变化？用来解决这类问题的一套方法，便形成微积分学这门数学分支。

平均变化率

解题是先从求平均变化率开始。例如，某汽车在中午启程，到午后2时离出发地点为80公里。到下午5时车共走了224公里。从下午2时至5时车共行驶了 $224-80=144$ 公里。由于历时3小时，车行驶的平均变化率为 $\frac{144}{3}=48$ 公里/小时。

汽车与起点的距离 s 被视为时间 t 的函数，以符号 $s=f(t)$ 来表示。我们得到：$f(2)=80$ 和 $f(5)=224$ 公里。时间 t 的增量为 $\triangle t=5-2=3$ 小时，而 s 的增量 $\triangle s=f(2+\triangle t)-f(2)=f(5)-f(2)=224-80=144$ 公里。因此，

$$平均变化率=\frac{\triangle s}{\triangle t}=\frac{144}{3}=48 公里/小时。$$

平均变化率一般可定义为：函数 $y=f(x)$ 在从 x 到 $x+\triangle x$ 的区间的平均变化率，定义为 y 之增量与 x 增量之比值。用符号表示则为

$$\frac{\triangle y}{\triangle x}=\frac{\triangle f(x)}{\triangle x}=\frac{f(x+\triangle x)-f(x)}{\triangle x}$$

可用函数的图形给出函数的平均变化率——即其几何解释。函数 $y=f(x)$ 画在下面的图3中。

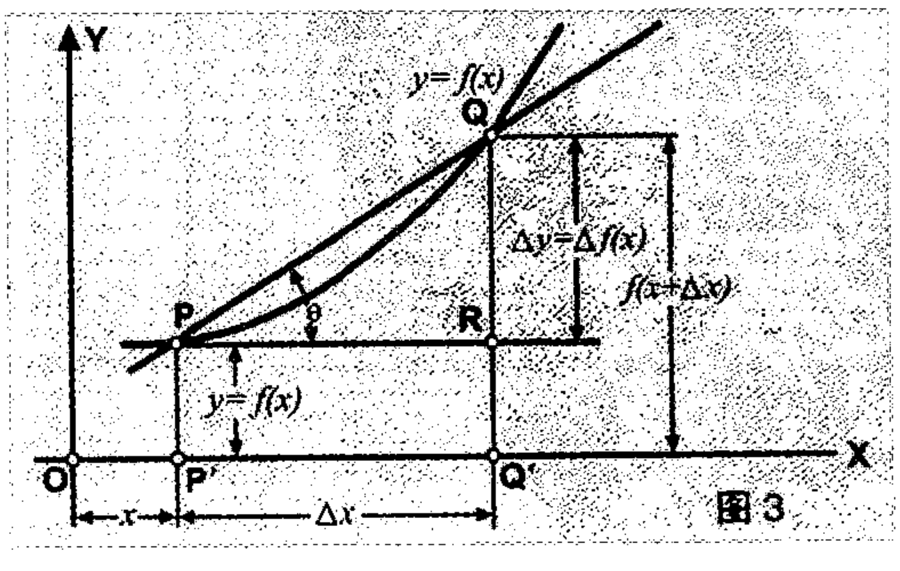


图3

图中以线段 PR=PQ给出增量$\triangle x$。相应的增量$\triangle y$=

$\triangle f(x)$则由线段 RQ 给出。因此，给出在区间 P'Q'的平均变化率为：

$\frac{\triangle y}{\triangle x}=\frac{RQ}{PR}=\tan\theta$（$\theta$ 是 PQ 与 X 轴方向间之夹角）

于是，$\frac{\triangle y}{\triangle x}$是线段 PQ 的斜率，而在 x 到 $x+\triangle x$ 区间内函数 $y=f(x)$的平均变化率就等于直线 PQ 的斜率，它连接 x 的相应点与 $x+\triangle x$ 的相应点。这种连接曲线的两点所成的直线，称为该曲线的割线。

当由一公式给出函数时，求平均变化率是很容易的。例如，求当 x 从 1 变到 3 时，$y=f(x)=3x^2-2$ 的平均变化率：

$\triangle x=3-1=2$

$f(x)=f(1)=1$

$f(x+\triangle x)=f(1+2)=f(3)=3\times9-2=25$

$\triangle y=\triangle f(x)=f(x+\triangle x)-f(x)=25-1=24$

$\frac{\triangle y}{\triangle x}=\frac{f(x+\triangle x)-f(x)}{\triangle x}=\frac{24}{2}=12$

瞬时变化率的问题

仅算平均变化率，是不能满意地解出许多实际生活中的问题的。对车祸，驾驶司机不能用前两小时他的车的平均速率为每小时 32 公里来推卸责任。要害的问题是出事时车的瞬时速率，尤其当汽车的速率是在变化时更是如此。

所以必须建立瞬时变化率的概念。定义平均变化率的办法不适用于瞬时变化率。在出事的瞬时，不存在前后延伸的时间间隔，也不存在相对应的汽车所通过的距离。只能用从两边逐渐逼近的办法来加以定义；这就是，在事故前愈来愈短的时间间隔与相应的愈来愈短的行驶距离所定义的速度就更精确，同样假定汽车在事故后仍能继续前进。这样就得到了一系列分居"事前"与"事后"的数值，这些数值可趋近于一个定值，这个值称为极限。是它把"事前"与"事后"分开了。它可提供事故发生时所需要的瞬时变化率。

瞬时变化率的意义

这种"数值极限列"可用图 4 中所示的几何术语来说明之。

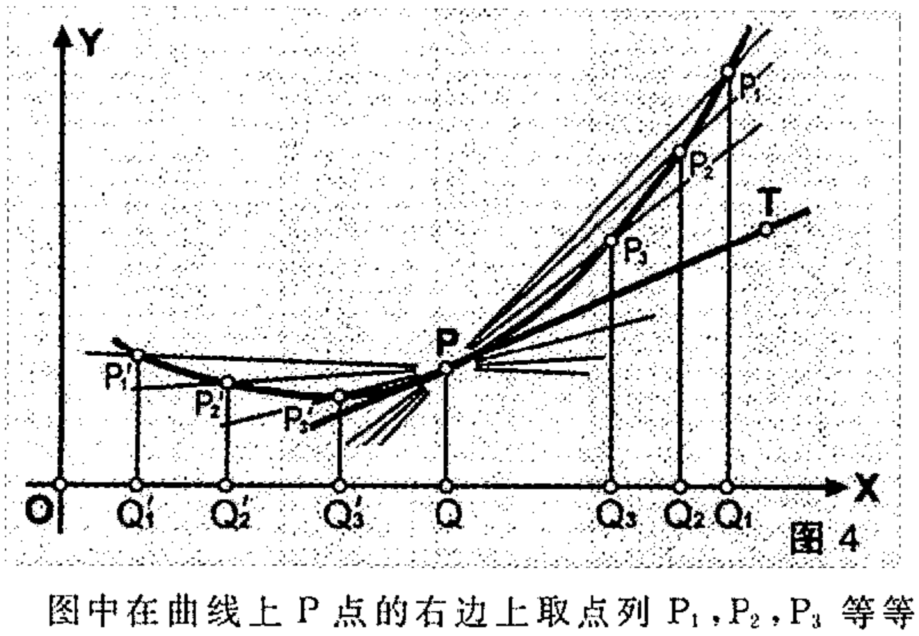


图 4

图中在曲线上 P 点的右边上取点列 P_1，P_2，P_3 等等。分别形成割线 PP_1，PP_2，PP_3。同样在 P 点之左，P'_1，P'_2，P'_3 相继形成割线 PP'_1，PP'_2，PP'_3。

QQ_1 段函数的平均变化率等于割线 PP_1 的斜率。其他割线则定义出其他的平均变化率。可是图上有一直线 PT，看得出来它是把通过 P 的左边点的割线和通过右边点的割线分隔开来。这条直线就称为曲线在 P 点的切线。

当取的指定点列愈来愈接近 P 点时，P 两侧诸割线的斜率就趋近于 P 点的切线的斜率。因此，当指定点趋于 P 点，P 点切线之斜率就是通过 P 点诸割线斜率的极限值。若 P 点两侧的割线斜率定义了 P 点两边的平均变化率，则 P 点之切线斜率一定代表 P 点处的瞬时变化率。因此，P 点的瞬时变化率就等于 P 点切线的斜率。求切线之斜率，则在切线上取任意点 T，如图 5 中所示。

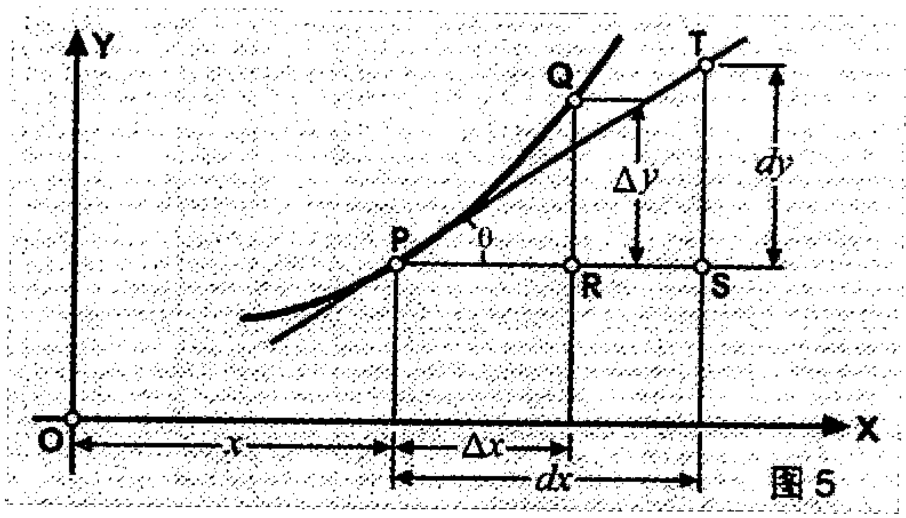


图 5

若从 P 到 T 点，其坐标值的增量可表成 dx 和 dy。切线 PT 的斜率（θ 角从水平方向算起）则为：$\tan\theta=\frac{dy}{dx}$。

但既如上所说，P 处的瞬时变化率等于切线 PT 之斜率，可用 m 来表示。因此得 m 的一表达式 $m=\frac{dy}{dx}$。

既然瞬时变化率的定义是区间$\triangle x$ 趋于 0 时，平均变化率的极限（lim）值，因此得到

$m=\lim\frac{\triangle y}{\triangle x}$，当 $\triangle x\to0$

因此，一函数 $y=f(x)$在一特定点 P 的导数（或瞬时变化率）就是 $\lim\frac{\triangle y}{\triangle x}$，当$\triangle x$ 趋于 0 时之值。此值等于 P 点切线的斜率。如果 dx 和 dy 分别是 x 和 y 从 P 到切线上任一选定点的增量，则在 P 点的导数，就由

$\lim\frac{\triangle y}{\triangle x}=\frac{dy}{dx}$而给出。

导数的公式

为了表明如何求被一公式定义的函数之导数，考虑函数

$y=f(x)=3x^2-5$

为求此函数在某特定点（例如 $x=2$）的导数，先求从 $x=2$ 到 $x=2+\triangle x$ 之间的平均变化率。演算如下：

$f(2)=3\times2^2-5=3\times4-5=12-5=7$

$f(2+\triangle x)=3(2+\triangle x)^2-5=7+12\triangle x+3(\triangle x)^2$

$\triangle y=f(2+\triangle x)-f(2)=12\triangle x+3(\triangle x)^2$

$\frac{\triangle y}{\triangle x}=12+3\triangle x$

接下去的一步，就是求出当$\triangle x\to0$ 时的平均变化率。得到

$\lim\frac{\triangle y}{\triangle x}=\lim(12+3\triangle x)=12$，当 $\triangle x\to0$ 时

这样的导数计算可用于 x 的任意次方的函数——即任意指数的 x 值 x^n。对函数 x^n 的求导公式(加上一些其他重要的导数在内)如下:

$$\frac{dy}{dx}=\frac{d(x^n)}{dx}=nx^{n-1} \qquad \frac{d\ \sin x}{dx}=\cos x$$

$$\frac{d\ \cos x}{dx}=-\sin x$$

函数的导数一经得知后,则可直接地,或"反过来"地,或"绕弯"地使用它。其中反过来用的步骤,称为积分。积分是微分的逆运算,就如减法是加法的逆运算,全部积分运算构成了积分学。

积分学

积分学中的一个简单的例子,就是计算一曲线 $y=f(x)$ 下的面积。在图 6 中,我们要求的面积范围是:曲线 AB 段、底边的 $A'B'$ 段(或 X 轴)和 AA′与 BB′两边界线所共同包围的面积。

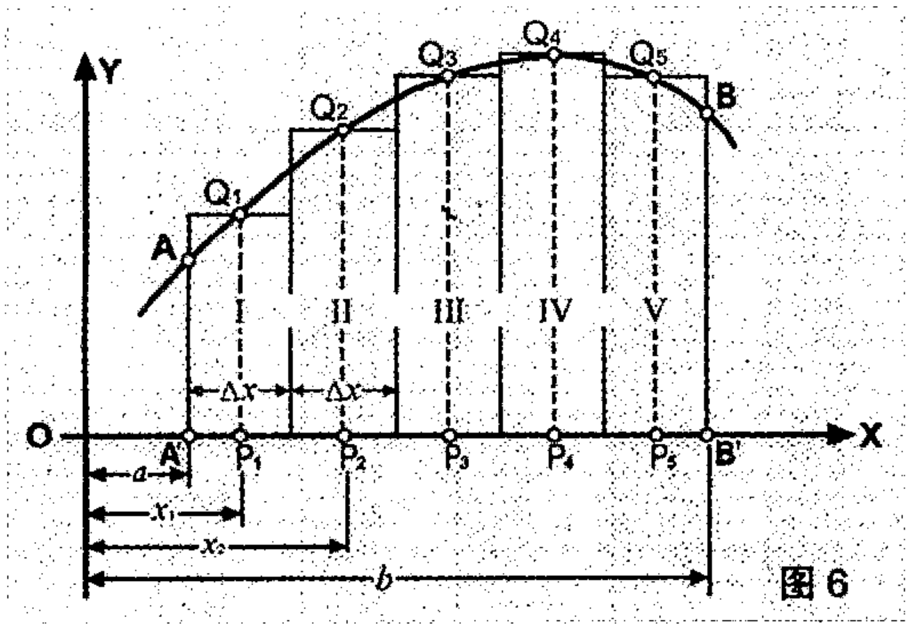


图 6

将底边分成众多的长为 $\triangle x$ 的小线段,每段上相继作高为 P_1Q_1,P_2Q_2,……等的小矩形。而矩形面积为其底 $\triangle x$ 乘以其高。这些面积之总和为

$$\text{I}+\text{II}+\cdots=(P_1Q_1)\triangle x+(P_2Q_2)\triangle x+\cdots \quad (1)$$

$$=f(x_1)\triangle x+f(x_2)\triangle x+\cdots \quad (2)$$

这个总和给出的显然只是面积 ABB′A′的近似值。但只要取的小矩形的条数足够多,则这面积要多准就有多准。(2)式可简写为 $Sf(x)\triangle x$。

这里的符号 S 表示将一系列的相类项——$f(x_1)\triangle x$,$f(x_2)\triangle x$ 等等——加起来。我们所取的 $\triangle x$ 若足够小,就可使求得的面积达到所需要的准确度,这时便以 dx 来替掉 $\triangle x$,符号 $\int$("积分符号")来替掉符号 S,因此

面积 ABB′A′$=\int f(x)dx$

为表示所算的面积是以 $x=a$ 和 $x=b$ 两直线为上下界的,我们就将上式写完全而成为

面积$=\int_a^b f(x)dx$

上等式的右方称为:$f(x)dx$ 在界限 a 和 b 之间(或说从"a 到 b")的定积分。

作为微分之逆的积分

到此阶段,我们必须设法用代数式求出定积分的确切值。若函数 $f(x)$ 是另外的函数 $F(x)$ 的导数,则 $F(x)$ 就提供了求解的基础。

这对简单函数是很好办的。例如,欲求面积的有关曲线是 $y=x^2$,则其不定积分为

$$\int f(x)dx \text{ 或 } \int(x^2)dx$$

现在的问题是:找出以 x^2 为其导数的"原函数"$F(x)$来。从微分的知识,知道这个原函数只能是 $F(x)=\frac{x^3}{3}$ 的形式(根据对 $n=3$ 次方的幂函数微分法则,知此函数之导数为 $\frac{3x^2}{3}=x^2$)。此推理可转用到 n 为 2、3 或任何次方,而说 x^n 的(不定)积分为 $\frac{x^{n+1}}{(n+1)}$(但 $n\neq-1$)。

最后一步是用以上结果(用原函数 $F(x)=\frac{x^3}{3}$ 来替代 x^2 的积分)计算:

a 与 b 间的 $\int f(x)dx[=\int_a^b(x^2)dx]$

算定积分时,可以将对应上限 $x=b$ 的原函数值减去对应下限 $x=a$ 的原函数值。用抛物线 $y=mx^2$(图 7)来说明。由于该曲线交 X 和 Y 轴于原点 O,若把 a 值当作 0,则只考虑在 $x=b$ 处的值。

面积 A 可立即用 b 代入原函数$\frac{x^3}{3}$而按下法求出

$$\int_a^b f(x)dx=\int_a^b(mx^2)dx=\left[\frac{mx^3}{3}\right]_a^b=\frac{1}{3}mb^3$$

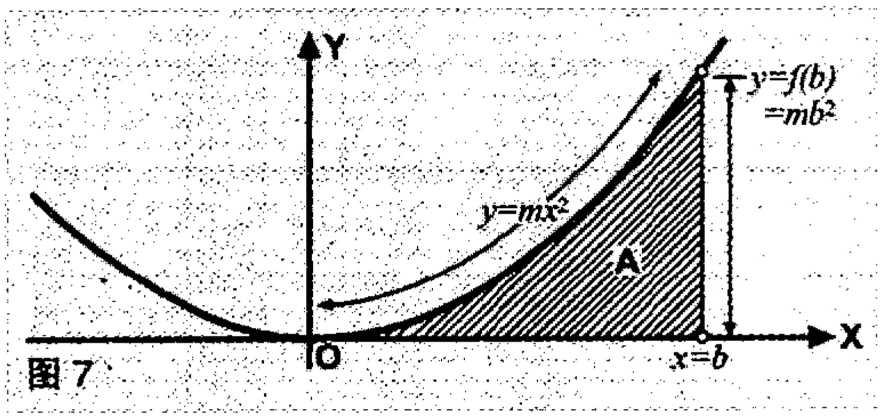


图 7

在许多问题中,$\int f(x)dx$ 中并未给出上下限。这种形式的积分叫 $f(x)$的不定积分,因其计算要涉及 x 值整个范围而不确定。其计算与以下的事实有关:因为任何常数的导数都是零,所以 x^2+2 和 x^2+3 的导数都是 $2x$。因此不定积分 $\int(x^2)dx$ 的结果若取 $x^3/3$,会漏掉了一个可能存在的常数项(因常数在微分中消失)。所以对这一不定积分的结果,正确的公认形式为$\frac{x^3}{3}+C$,式中 C 称为积分常数。这样的不定积分值是不能完全确定的,因其部分取决于任意常数 C。

概率 PROBABILITY

几百年前,数学家们设法量度像比赛、赌博等事件的不确定程度,由此而产生了一门新的数学分支——概率论。概率原理得到了广泛的应用。例如,在遗传学中,要用概率估计棕色眼珠的父母生下蓝眼

珠孩子的可能性。在商业上,保险公司则用概率原理来确定风险群组。

概率与统计学密切相关,因为统计上作出预测时,总不免有不确定性。可是,这两个领域之间存在着原则上的区别。在统计学中,先是从一未知总体中抽样,由此来确定是什么样的总体。而在概率论中,整个总体是全知道的,未知因素则是从总体中得到一特定样品的可能性。

每掷一次钱币,会有两种可能的结果出现——正面朝上或背面朝上。由于钱币的哪一面朝上都一样容易,因此称两者出现的机会是相等的。概率就可表示为所期望的出现数对一切会出现的总数的比值。这样,钱币出现正面朝上的概率就是 1:2——也就是说,1 比 2 或 $\frac{1}{2}$。这一概率大小并非是说每连掷两次就一定有一次正面朝上;而是表示每连掷两次而出现一次正面朝上是很可能的。

每掷一次骰子时,可能会出现 6 种结果:1、2、3、4、5 和 6。当一次合掷两个骰子时,则会出现 36 种可能的结果,如下表中所示。列出一实验中所有的出现,称之为一样本空间。因为两骰子点数之和为 8 出现的情况有 5 种,所以合掷出现点数和为 8 的概率为 $\frac{5}{36}$。而出现两骰子点数和为 7 的概率为 $\frac{6}{36}$,或 $\frac{1}{6}$(概率一般用最简单的数来表示)。

概率之值可以是 0,是 1,或在 0 和 1 之间的任何数。不可能发生的事件的概率值为 0。由于合掷两骰子点数之和为 13 是不可能的,因而其概率值为 $\frac{0}{36}$ 或 0。一定会发生的某事件的概率值为 1。因此,合掷两骰子,其点数和是从 2 到 12 的概率值是 $\frac{36}{36}$ 或 1。

掷一对骰子时的
样 本 空 间

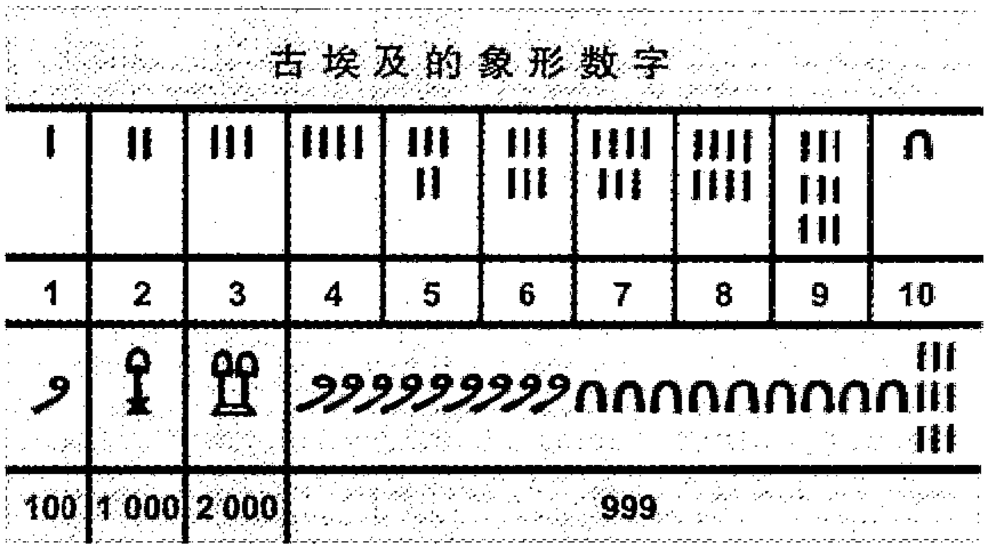
	1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6	7
2	3	4	5	6	7	8
3	4	5	6	7	8	9
4	5	6	7	8	9	10
5	6	7	8	9	10	11
6	7	8	9	10	11	12

撰文:David Spangler

命数系统和数 NUMERATION SYSTEMS AND NUMBERS

5 000 多年以前,埃及的一位统治者在一战事记录中,多少有些夸张地记述:俘虏 120 000 人,缴获牛 400 000 头和山羊 1 422 000 只。此事铭刻在一仪仗上,现存于英国牛津的一个博物馆中。

古代埃及的数制发展到一相当高的程度,但方法本身却是很粗糙的。例如,1 000 这个数是用一朵荷花的图形作记号,而 2 000 则用莲叶从中长有两朵荷花的图形来作记号。尽管用这种象形文字的符号,能使埃及人写下大数目,但这种命数系统是笨而不便的。例如,999 这数就要用 27 个单个符号来标记。



在我们的命数系统中,用了称为数字的 10 个记号——0、1、2、3、4、5、6、7、8 和 9——和这些记号的组合。我们的命数系统为十进位(以 10 为底)制。这个用 10 个数字为底的命数法,无疑地受人有 10 个手指头的影响。(参见:数学)

在早期的文化与社会中,还曾发展过别的命数系统。两种最为普遍使用的是:五进位制(与人一只手共 5 指有关)和二十进位制(与手脚加起来共 20 个指头有关)。

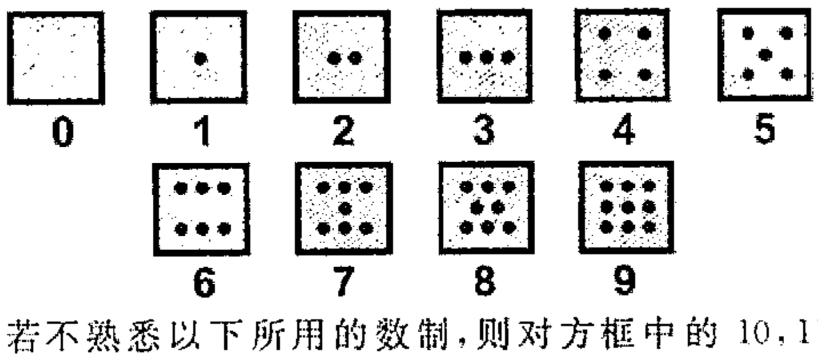
有些语言中的"五"就是"手"字,而"十"字与"双手"也是同样的字。在英语中,"数字"(digit)与"手指"(finger)是同义词——就是说,在英语中 10 个数字就相当于 10 个手指。

在古代美索不达米亚,还发展了一种六十进位(以 60 为底)的命数系统,它沿用了多个世纪。古代那里的人把 1 年分为 360 天(6×60);现在我们仍然是将 1 小时分为 60 分(钟),1 分再分为 60 秒(钟)(对角度也如此)。现在有用的数制有:用于电子计算机的二进(位)制(以 2 为底)和十二进制(以 12 为底)。

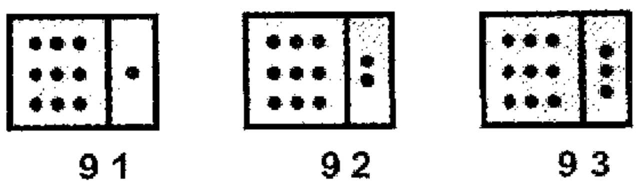
大家都熟悉十二进制、二进制、五进制及其他进位制的原理,是很有益的。这样会对十进制有更深入的认识,尽管十进制是每个人从小就惯用的。不过在考虑其他的数制前,让我们对早已熟悉的十进制作一深究。

十进制

我们的十进制是用来命名下列方框中点数的:

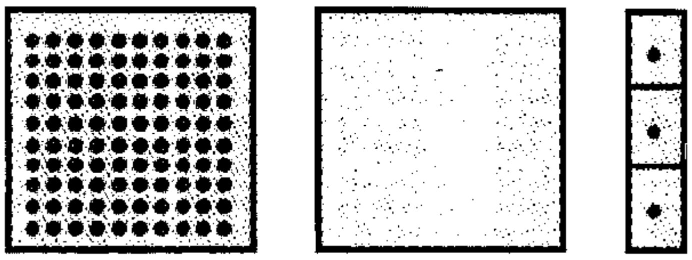


若不熟悉以下所用的数制,则对方框中的 10、11、12 点,可用如下所示来作合乎情理的命名:



基于以上步骤而建立起的数制，称为加法制。995 这个数将用 9+9+5 的和来表示。不过，在我们的数制中，采用了位数或位值，这是古印度数学家所发明的数制。位数制（或进位法）比简单相加制要优越得多。

在位数命数系统中，指定数字值的大小要看它是在哪个位置上。例如，在十进位制中，1 在数值 103 中处于百位而为 100，0 位于十位而为 0，而 3 因处于个位而为 3 个 1。



$103=[1\times(10\times10)]+[0\times(10)]+[3\times(1)]$

符号 10^2 是代表 10×10 的简号。其中符号"2"称为指数，它表示 10 的自乘（一次）。用同样方法表示则

$10\times10\times10=10^3$ 和 $10\times10\times10\times10=10^4$。

用这种简化记数法，则数值 1 572 可表成

$1\,572=[1\times10^3]+[5\times10^2]+[7\times10]+[2\times1]$

1、6、230 和 1 572 等数，称为整数。我们所用的 10 个数字不但可表示整数，还可用来表示小于 1 的数和整数与小于 1 的数的和数，这些数既可用分数也可用（十进）小数来表示。每个数字的值的大小，由其所在的位数确定。例如：

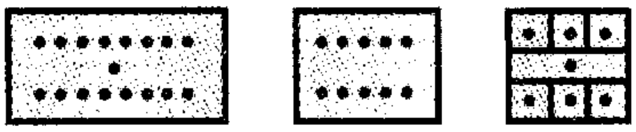
$$0.132=[0\times1]+[1\times\frac{1}{10}]+[3\times\frac{1}{100}]+[2\times\frac{1}{1000}],$$

和

$$23.35=[2\times10]+[3\times1]+[3\times\frac{1}{10}]+[5\times\frac{1}{100}]$$

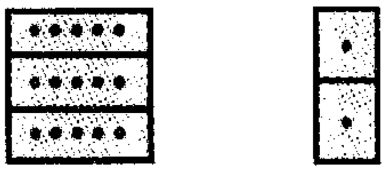
五进制

今一方框中共有 17 个点，则可用一个有 10 点和一个有 7 点的方框表示如下



$17=[1\times(10)]+[7\times(1)]$

但我们也可将其看作是，每组有 5 点的 3 个组再加上两个点：



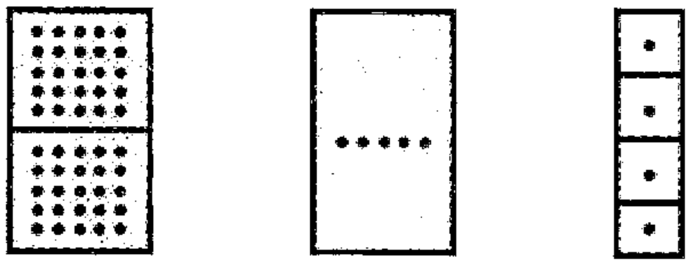
$17=[3\times(5)]+[2\times(1)]$

数 $32_{(五进位制)}=32_5$ 是代表$[3\times(5)]+[2\times(1)]$的简化记数法。下标号"5"是表示此数是用五进位制表示的。本条目中，凡不加下标号之数，一律为十进制。因此：

$17=[1\times(10)]+[7\times(1)]$

$\quad=[3\times(5)]+[2\times(1)]=32_5$

类似地，则数 214_5 代表



$214_5=[2\times(5\times5)]+[1\times(5)]+[4\times(1)]$

$\quad=[2\times25]\quad+\quad5\quad+\quad4$

$\quad=\quad50\quad+\quad5\quad+\quad4\quad=59$

在五进制命数系统中，只有 0、1、2、3 和 4 这 5 个数字。

从我们所用的货币单位，就很容易认识到位数的重要意义和十进位与五进位制两者间之数值关系了。用十进制时我们可考虑到：美分（单位），美角（10 美分）和美元（100 美分），钱数则由数字所在的位数来定。同样，在五进制中，则想到的是：美分（单位），镍币（5 美分）和 $\frac{1}{4}$ 美元硬币（25 美分）。

例如，431_5（分）可变换为

$4(\frac{1}{4}$美元硬币$)+3($镍币$)+1($美分$)$

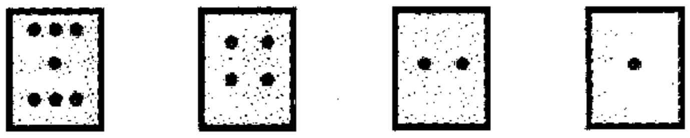
另外，也可将其换作

1(美元)+1(美角)+6(美分)。

而这又可换成 116 美分。因此得：$431_5=116$。

二进制

今考虑一内有 7 点的方框。我们现用二进位制来代替以上的十进位与五进位制：



$7=[1\times(2\times2)]+[1\times(2)]+[1\times(1)]$

数 111_2 是以上数值的简化记数。下标号"2"是表示此数是用二进制命数系统的。在这数制中，只用 0 和 1 这两个数字。

再看如何用二进制来作算术问题（本讨论中，带深色背景之数均属二进制）。

加法 乘法

$0+0=0\quad 1+0=1\quad 1+1=10\qquad 0\times0=0\quad 1\times0=0\quad 1\times1=1$

以下是一些二进制的演算题：

$10+1=11$ (3)　$10+10=100$ (4)　$11+10+101=1010$ (10)　$1101+100+110=10111$ (23)　$10-1=1$ (1)　$101-10=11$ (3)　$1101-111=110$ (6)

$10\times1=10$ (2)

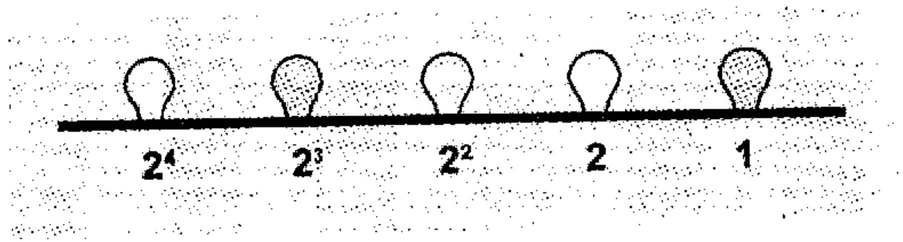
10×11：10，10，$=110$ (6)

110×10：000，110，$=1100$ (12)

$110\div10=11$：10，10，10，0 (3)

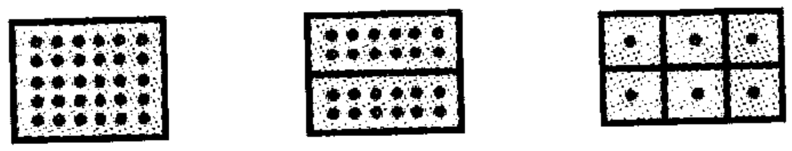
$111100\div110=1010$：110，110，110，00 (10)

二进制算术的简单性，使它适用于电子计算机。数字1可使它对应于开电灯，而数字0则对应于关掉电灯。例如，可使数 10110_2 对应作如下布置的灯光：



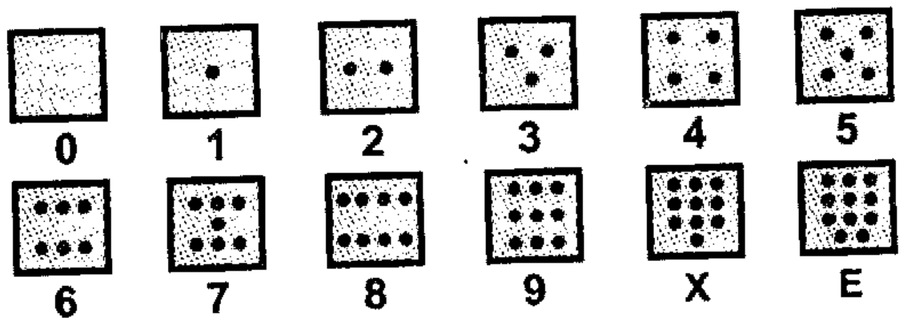
十二进制

今考虑一方框内有30个点。可将其以12为底而分之如下：



$$30=[2\times(12)]+[6\times(1)]$$

数 26_{12} 就是 $[2\times(12)]+[6\times(1)]$ 的简化表示。下角标号"12"就表示该数是以12为底的，或用的是十二进制记数法。这个数制要用12个数码，所以除了以前十进制的10个数外，还要加上两个数码，用X和E来表示。



因此，

$9_{12}=9\times(1)=9$

$X_{12}=X\times(1)=10\times(1)=10$

$E_{12}=E\times(1)=11\times(1)=11$

$10_{12}=[1\times(12)]+[0\times(1)]=12+0=12$

$1X_{12}=[1\times(12)]+[X\times(1)]=[1\times(12)]+[10\times(1)]=12+10=22$

$EX0_{12}=[E\times(12\times12)]+[X\times(12)]+[0\times(1)]$
$=[11\times(12\times12)]+[10\times(12)]+0$
$=1584 \quad +120 \quad =1704$

用十二进制计算，记住单位打(dozen)数和罗(gross)数可能是有益的。例如，数 431_{12} 等同于

4(罗)+3(打)+1(单位)

又等同于如下表达：

$[4\times(12\times12)]$(单位)$+[3\times(12)]$(单位)$+[1\times(1)]$(单位)，与十进制中的613相等。因此，$413_{12}=613$。

顺带还可提到英尺与英寸的关系。例如，XE_{12}(英寸)就是

X(英尺)+E(英寸)，或10英尺+11英寸

这就等于131英寸。因此，$XE_{12}=131$。

以下是一些十二进制的加法算题，其旁是有关的实例。后面还有十二进制中的乘法表。下面带深色背景者，均为十二进制之数。

27	2 英尺 7 英寸	428	4 罗 2 打 8 单位
+3E	+3 英尺11 英寸	+XE	+ 10 打 11 单位
66	6 英尺 6 英寸	517	5 罗 1 打 7 单位

不同进制间的换算

我们已知如何用二进位、五进位和十二进位制，表示十进位数。现在，用进位的观念，我们可将任何底数的数，换算成十为底之数。例如：

$$37_8=[3\times(8)]+[7\times(1)]=24+7=31$$

$$146_7=[1\times(7\times7)]+[4\times(7)]+[6\times1]$$
$$=49+28+6=83$$

不过把十为底之数表成其他底的数，则要稍微费心些。当然，这可按一些死规定算出来。但更重要的则是：能用位数这一基本观念，将其自然而然地换算出来。下面，就是由位数原理，来把十进位数换成其他的进位数。

例1. 将十进位制中的19，用二进制来表示。首先应注意到

$2\times2\times2\times2(=16)$ 是比19要小，

而19小于 $2\times2\times2\times2\times2(=32)$

相减

$$\begin{array}{r}19\\-16\\\hline 3\end{array}$$

因此，$19=[1\times(2\times2\times2\times2)]+3$

接着注意到

$3=[1\times(2)]+[1\times(1)]$

因此，$19=[1\times(2\times2\times2\times2)]+[0\times(2\times2\times2)]+[0\times(2\times2)]+[1\times(2)]+[1\times(1)]=10011_2$

例2. 将十进制中的67，换作五进制。注意到

$5\times5(=25)$ 小于67

而67是小于 $5\times5\times5(=125)$ 的

现在：

作相减 $\begin{array}{r}67\\-25\\\hline 42\end{array}$

再　减 $\begin{array}{r}-25\\\hline 17\end{array}$

因此，$67=[2\times(5\times5)]+17$

现在再注意到：

5小于17，和17小于 $5\times5(=25)$

相减 $\begin{array}{r}17\\-5\\\hline 12\end{array}$

再减 $\begin{array}{r}-5\\\hline 7\end{array}$

再减 $\begin{array}{r}-5\\\hline 2\end{array}$

因此，$17=[3\times(5)]+2$

由此，$67=[2\times(5\times5)]+[3\times(5)]+[2\times(1)]=232_5$

例3. 这是将十进制中的67，化为五进制之另一法。记住

$5\times5(=25)$ 比67小，而67又小于 $5\times5\times5(=125)$

现在作除法：

$$\begin{array}{r} 2 \\ 25\ \overline{)67} \\ \underline{50} \\ 17 \end{array}$$

因此，67＝[2×(5×5)]＋17

又注意到 5 比 17 小，而 17 又小于 5×5

相除：

$$\begin{array}{r} 3 \\ 5\ \overline{)17} \\ \underline{15} \\ 2 \end{array}$$

因此，17＝[3×(5)]＋2，

从而，$67=[2\times(5\times5)]+[3\times(5)]+[2\times(1)]=232_5$

例 4. 将 587_{10} 换成十二为底的数。注意，

12×12(＝144)比 587 小，而 587 又小于 12×12×12 (＝1728)

相除：

$$\begin{array}{r} 4 \\ 144\ \overline{)587} \\ \underline{576} \\ 11 \end{array}$$

因此，587＝[4×(12×12)]＋11

又记住 $11=E_{12}$

因此，$587=[4\times(12\times12)]+[0\times(12)]+[E\times(1)]$

$=40E_{12}$

读者不妨试证下列的关系以自娱：

(a) $365_{12}=509$　　(c) $11010110_2=1324_5$

(b) $11010110_2=214$　　(d) $424_7=1324_5$

下为一十二进位制(即以十二为底的)数的乘法表，读者很容易地，就可将其化为一十进制中的(12×12)乘法表。

十二进制中的乘法表

×	1	2	3	4	5	6	7	8	9	X	E	10
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	X	E	10
2	2	4	6	8	X	10	12	14	16	18	1X	20
3	3	6	9	10	13	16	19	20	23	26	29	30
4	4	8	10	14	18	20	24	28	30	34	38	40
5	5	X	13	18	21	26	2E	34	39	42	47	50
6	6	10	16	20	26	30	36	40	46	50	56	60
7	7	12	19	24	2E	36	41	48	53	5X	65	70
8	8	14	20	28	34	40	48	54	60	68	74	80
9	9	16	23	30	39	46	53	60	69	76	83	90
X	X	18	26	34	42	50	5X	68	76	84	92	X0
E	E	1X	29	38	47	56	65	74	83	92	X1	E0
10	10	20	30	40	50	60	70	80	90	X0	E0	100

印度-阿拉伯数和罗马数

前面说过，我们现在用的十进制记数法的发现，应归功于古印度人。该记数法是先经阿拉伯化，然后才由 13 世纪旅游商人传入欧洲的。所以称之为印度-阿拉伯数制。

印度-阿拉伯数制的推行，由于当时罗马数制的广泛使用而受阻。不过，后来因印度-阿拉伯数制的优点逐渐为欧洲人所理解，终于取代了罗马数制。(见：**罗马数码**)

罗 马 数 码

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	2	3	4	5	6	7	8
IX	X	L	C	D	M		
9	10	50	100	500	1 000		

但罗马数码有时还在用。用罗马数码的一些实例有：时钟表面上的钟点数，书中引言的页数及目录中的章数。

罗马数制，同其他非进位的数制一样，对于数未能提供出简而有效的算法。下面就举些用罗马数制(印在纸面的深色背景上)来计算的例子。在其旁附有相当的印度-阿拉伯数制中的算法。

$$\begin{array}{r} \mathrm{IV} \\ +\ \mathrm{III} \\ \hline \mathrm{VII} \end{array} \quad \begin{array}{r} 4 \\ +\ 3 \\ \hline 7 \end{array} \qquad \begin{array}{r} \mathrm{XXXII} \\ -\ \mathrm{XVIII} \\ \hline \mathrm{XIV} \end{array} \quad \begin{array}{r} 32 \\ -\ 18 \\ \hline 14 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \mathrm{XII} \\ \times\ \mathrm{III} \\ \hline \mathrm{XXXVI} \end{array} \quad \begin{array}{r} 12 \\ \times\ 3 \\ \hline 36 \end{array} \qquad \frac{\mathrm{LXIV}}{\mathrm{IV}}=\mathrm{XVI} \quad \frac{64}{4}=16$$

实数

命数系统提供的数值我们可称之为“数”。现在，让我们用十进位制，来研究实数的集(合)。

当我们说一男人身高 1.8 米，体重 82 千克，而年龄为 30 岁，这就是把一些量的测量结果，用一些数来表示。这样使用的数归入到算术数。(见：**算术**)

用来测量直接变化的数为实数。例如，对温度而言，上升 5 度可用实数 $^+5$(称为正 5)来量度，而下降 5 度则可用实数 $^-5$(称作负 5)来量度。实数集中包括一切正数、负数和零。算术中的零对应于实数中的零。

对每个非零的算术数——就是每个零以外的算术数——与两个实数相对应。例如，对算术数 5，对应 $^+5$ 与 $^-5$ 这两个实数。算术数 5 便是实数 $^+5$ 与 $^-5$ 的算术值(或称绝对值)。

一对实数之和是一对直接测量变化的总值。例如，若温度先上升 5 度而后降低 3 度，则变化的总值是上升了 2 度。而 $^+5$ 与 $^-3$ 之和正好是 $^+2$。简写为：

$$^+5+{}^-3={}^+2。$$

而先下降 5 度而后又上升 3 度的总值，则是下降了 2 度，即

$$^-5+{}^+3={}^-2。$$

再者，若先降 5 度后又再降 3 度的总值为下降了 8 度，

即：

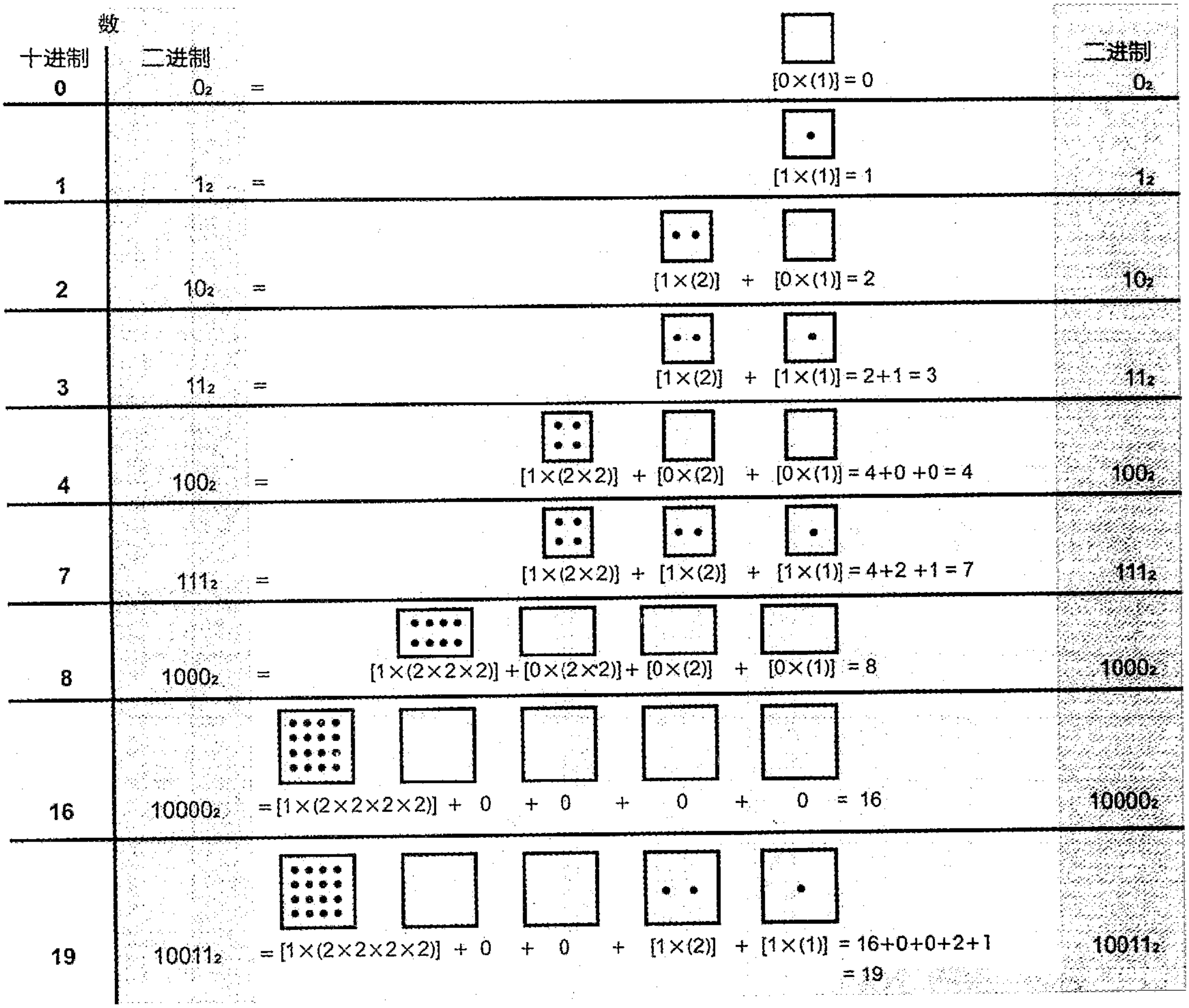
$^{+}5+{}^{+}3={}^{+}8$。

认为实数为直接变化的测度，也促进了实数的乘法规则。例如，假定1月1日的气温为0℃。如果此后气温每天上升5℃，则3天后气温的总变化为上升了15℃：

$^{+}5\times{}^{+}3={}^{+}15$。

因此，得到这样的算法规则：一个正数乘一个正数的结果(即积)为一正数。

数在十进制和二进制中的对照表



若气温每天下降5℃，则3天后气温总共下降了15℃：

$^{-}5\times{}^{+}3={}^{-}15$

由此得到另一规则：一负数乘以一正数之积为一负数。

再假设每天气温下降5℃，现在的气温为0℃，而求3天前的气温。由于3天前气温要比现在高15℃，因此

$^{-}5\times{}^{-}3={}^{+}15$

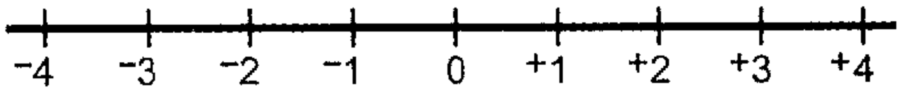
因此得到又一规则：一负数乘一负数之积，为一正数。

注意：实数的运算自然而然地与其算术数的运算相对应。一个正实数的算术值，常代表该实数。

一些实数运算			一些算术运算
$^{+}8+{}^{+}4={}^{+}12$		$^{-}8+{}^{-}4={}^{-}12$	$8+4=12$
$^{+}8+{}^{-}4={}^{+}4$		$^{-}8+{}^{+}4={}^{-}4$	$8-4=4$
$^{+}8\times{}^{+}4={}^{+}32$	$^{+}8\times{}^{-}4={}^{-}32$	$^{-}8\times{}^{-}4={}^{+}32$	$8\times4=32$

实数集可形象化地用一直线上的点集来表示，因而可把实数集说做实数直线。取一直线上的一点代表实数零，选其他分别代表$^{-}1$，$^{-}2$，$^{-}3$，$^{+}4$等数的点。

正整数集称为实数集的子集，它包含所有正整数。负整数集也是实数集的一个子集，它包含所有的负整数：1、$^{-}2$、$^{-}3$、$^{-}4$及其他等等。



必要时，所作的实数直线，可向左、右延伸。

整数集则包括：所有的正整数、负整数和零。

当一整数除以一非零的整数时，其商为一有理数。有理数可用分式来表示。例如，分数$\frac{^{+}1}{^{+}2}$代表$^{+}1$被除以$^{+}2$的商。在分数符号中，线上边的数称为分子，线下边的数为分母。

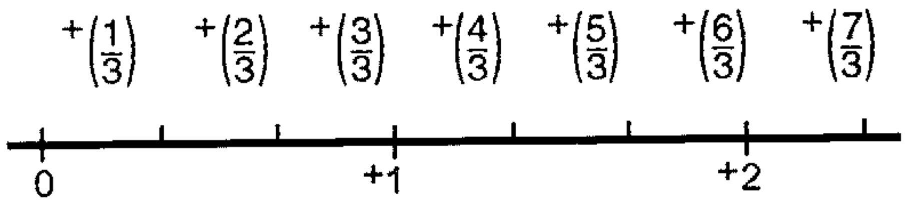
有理数也可用小数来表示。一分数可用除法，将其化为小数，表示如下：

$$\frac{^{+}1}{^{+}2} = {^{+}0.5} \qquad \begin{array}{r} 0.5 \\ 2\,\overline{)1.0} \\ \underline{1\ 0} \\ 0 \end{array}$$

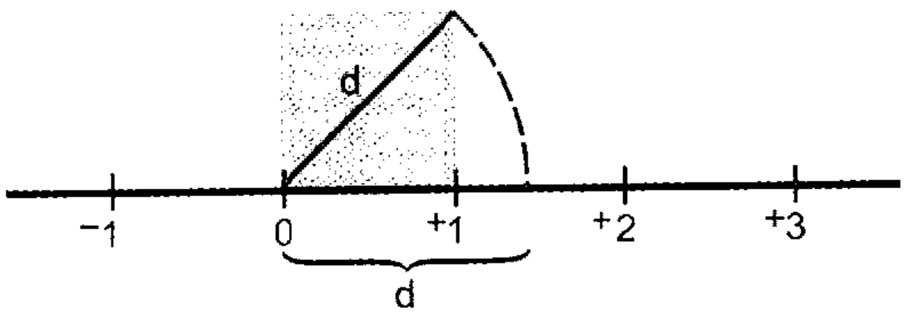
$$\frac{^{-}3}{^{+}5} = {^{-}0.6} \qquad \begin{array}{r} 0.6 \\ 5\,\overline{)3.0} \\ \underline{3\ 0} \\ 0 \end{array}$$

读者想必会料到有理数中包括正负整数。例如，因$\frac{^{-}4}{^{+}1} = {^{-}4}$，因而$^{-}4$为一有理数。

在实数系中，每一有理数相对应于数线上的一点。例如，求相应于$^{+}(\frac{7}{3})$的点，可将从0到$^{+}1$的线段分为三等份而找出对应＋$(\frac{1}{3})$的点，然后作一长为0到$^{+}(\frac{1}{3})$段7倍的线段，而作出相应于$^{+}(\frac{7}{3})$的点。



可是，实数线的每个点并非都代表一有理数。古代希腊的几何学家首先发现：有些实数并非有理数。他们曾经证明：若先作一单位边长的正方形，则其对角线长度所代表的数（在下图中以d来表示），就不是一个有理数。



以希腊几何学家毕达哥拉斯来命名的毕达哥拉斯定理中说：一直角三角形斜边之平方，等于其两侧（邻）边平方之和。依据这一定理，则

$$d^2 = 1^2 + 1^2 = 2 \qquad 这样\ d = \sqrt{2}。$$

非有理数之实数，称为无理数。其他无理数有如$\sqrt{3}$、$\sqrt{5}$和π（分别称做：3的平方根，5的平方根，圆周率即直径为1的圆周长度）等等。

一整数被一非零的整数除，则可得到小数形式的有理数，这小数的位数或有限，或是一个（除不尽的）循环小数。例如，

$$\frac{1}{5} = 0.2 \qquad（位数到头）$$

但 $\quad \frac{2}{7} = 0.28571428571428571428\cdots$ 无限重复下去。

一无理数不能由一整数除以一非零整数而得。用小数来表示，无理数是一非循环的无限位小数。对无理数π而言：

$\pi = 3.141592653589793238462643383279502884\cdots$

最近，用电子计算机算出π的近似值，多达小数点后29 000 000位。

撰文：Hyman Gabai 和 Robert W. Wirtz

罗马数码 ROMAN NUMERALS

罗马数码系统是用字母来表示数，它支配着欧洲差不多达2 000年之久。可是，罗马数码难以运算，一般得用算盘来算。罗马数码后来就逐渐为使用方便的阿拉伯数所取代（见：**命数系统和数**）。现在，罗马数码用于表示纪念碑与奠基石上的日期和纲要的编号，还用来标明图书引言部分的页数和钟表上的钟点数。罗马数系用7个字母来代表数：

罗马数码	I	V	X	L	C	D	M
阿拉伯数	1	5	10	50	100	500	1 000

罗马数码用大写和小写字母都行。重复一符号则重复其值：II＝2。在一行中，同一符号不能连用三次以上：III＝3。若代表一较小数的符号紧随一代表大数的符号之后，则表示将两数相加：VI＝6。当代表较小数的在代表较大数的紧前面时，则将后者减去前者：IV＝4，XC＝90，CD＝400。对涉及4或9的数，总是把较小数的符号置于较大数的符号之前：24＝XXIV。在符号上加一横杠则表示将其乘以1000：$\overline{\text{V}}$＝5 000。

阿拉伯数和罗马数码

1	I	18	XVIII	101	CI
2	II	19	XIX	156	CLVI
3	III	20	XX	200	CC
4	IV	21	XXI	300	CCC
5	V	30	XXX	400	CD
6	VI	32	XXXII	500	D
7	VII	40	XL	600	DC

8	VIII	43	XLIII	700	DCC
9	IX	50	L	800	DCCC
10	X	54	LIV	900	CM
11	XI	60	LX	1 000	M
12	XII	65	LXV	1 476	MCDLXXVI
13	XIII	70	LXX	3 000	MMM
14	XIV	76	LXXVI	5 000	$\overline{V}$
15	XV	80	LXXX	10 000	$\overline{X}$
16	XVI	90	XC	100 000	$\overline{C}$
17	XVII	100	C	1 000 000	$\overline{M}$

日期的罗马数码

1492	MCDXCII	1918	MCMXVIII
1776	MDCCLXXVI	1941	MCMXLI
1867	MDCCCLXVII	2001	MMI

图和图表 GRAPH AND CHART

不少人觉得难以在数值之间作有意义的比较。他们发现尤其困难的是对大数和众多的数的比较，例如长的统计表。用图和图表则便于对数量作比较，这可将其间关系表明得简单而明显。就是对专门的统计学家而言，准确的图像也常能显示出从原始数据难以弄清的事实。因此，为政府、工业和科学所收集的数据，常用图的形式来表明。尽管每种类型的图表有其专门的目的，但对一组给定的统计数据，常有几种作图表的方法。

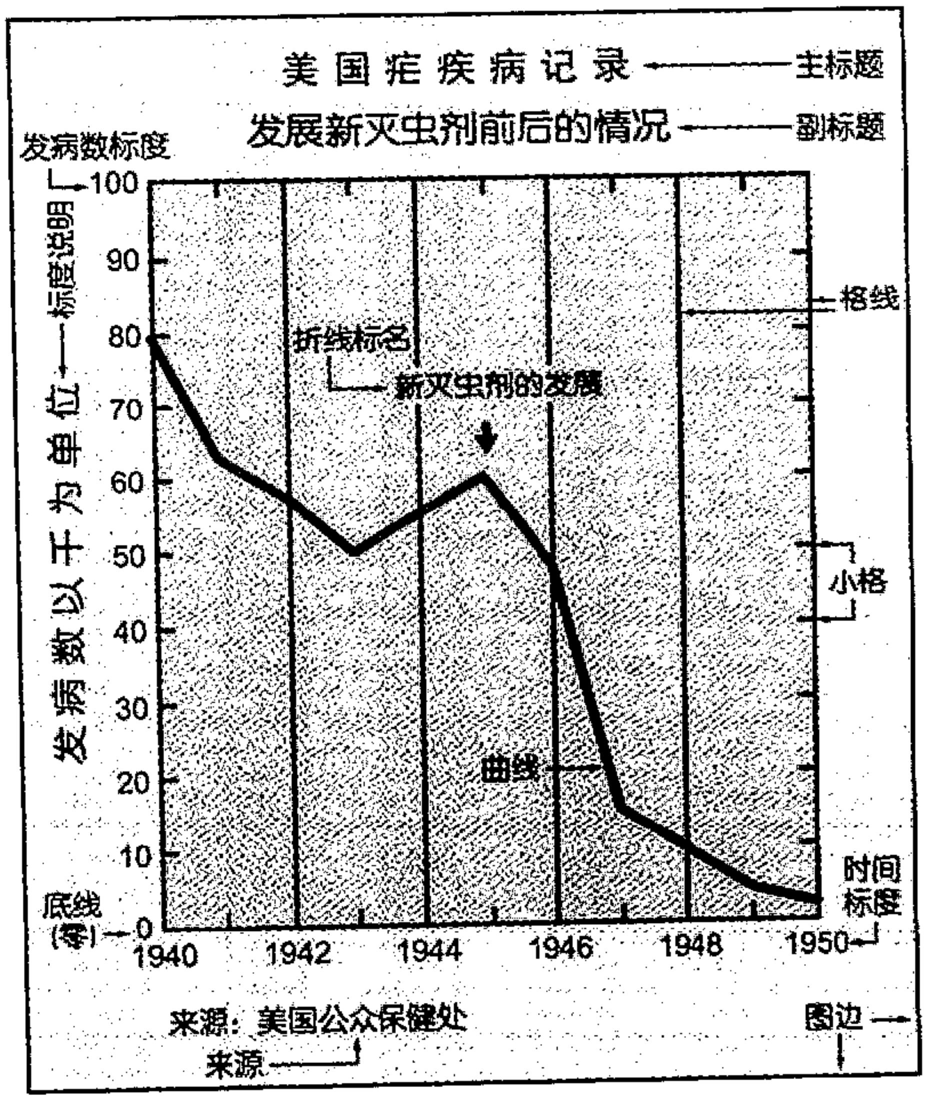
制图的材料和工具

图纸 用印好的图纸来画图，既省时而又准确。现成的作图纸有边长为$\frac{1}{4}$、$\frac{1}{5}$或$\frac{1}{10}$英寸方格的方格纸。由于图中的尺标通常用十进制，所以刻成$\frac{1}{10}$英寸的图纸比直接用标尺作图更方便，后者对每英寸细分到其$\frac{1}{16}$。最后完成的图，则要用光白纸或示图板。

绘图仪器 绘图仪器和机械制图用的相同——画图板或桌、丁字尺、三角板、量角器、直尺和鸭嘴笔。专为绘图表用的量角器中，将一圆周分为100等份而不是360°，直尺则刻到$\frac{1}{10}$英寸。作图人还得备有剪刀、细毛刷、画线用的硬铅笔、绘图墨水、橡皮、橡皮泥和红、蓝及绿色铅笔。

书写和上色 字若用手写，则要用简单的大写印刷体。可购到各种大小，刻有字母和数字的橡皮印章。可用颜色墨水或颜料来上色，或是贴上带色纸。对带线图表和大的折线图，则可用带色的胶条。

计算机 现已有大量编好程序的计算机，能很容易地显示出图线与图表来。对许多程序，只要数据一输入，图便会自动地作出相应的变化。



简单图表的制作

首先，要对统计数据先加以充分的研究，以确定其特别能说明问题之处。例如，这些数据是反映一段时间内的一种趋势呢，还是反映某时刻诸绝对量之间的关系呢？接着就是，选择能清楚而准确地反映这些基本点的图表类型。然后，选定图纸的大小与尺寸比例。先在作图纸上作若干不同的草图后，再选定最后的图表样式。

图名 图的标名应写在图的上头，若图有边线的话，位于图表左右边线的中间处。图的主标题，应使人一望而知图的基本内容。可以另加上副标题与注解，使内容显得更清楚。

来源 要注明数据的来源。它常注于图表的左下角处。

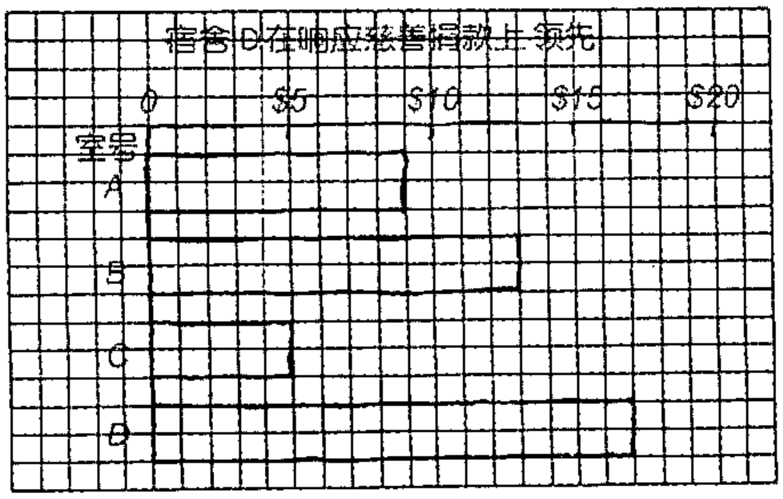
网格 网格应标出1、2、5、10、25等单位，或10的倍数的单位。单位的大小由读看图的准确度的需要而定。留空太挤时，网格会分散对曲线或条带的注意力。因此，不要作更多而非导视所需的线。对小图表常可用小格来代替这种线。对很简单的条线图表，在已完成的图表上，可去掉作图时所用的格线。

线的轻重 即线的粗细。格线画得最细。通常，代表零值的底线应比其他的格线粗。边线有时画得稍重些。最粗的应是图线本身。若图线不止一条，要用不同的颜色或虚线，加以区分。

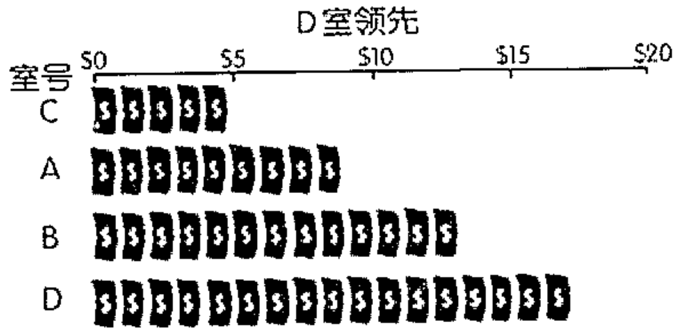
图键 有时要用一图键来鉴定曲线或条带。可将其写在格线上，一般写在左上角，有时就写在图标题之下。为鉴定两条或更多条曲线或条带，可用标号来代替键。一个标号——通常带有箭头——也可用来引起对曲线中的某些要点的注意。

简单大小之比

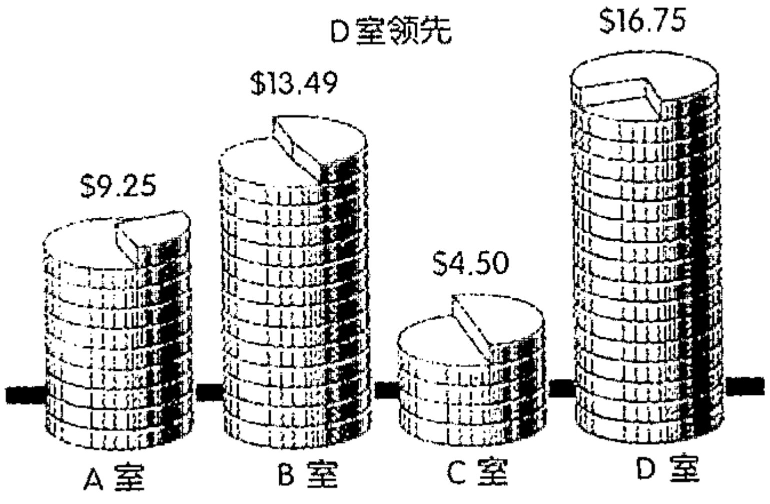
室号	捐款实数	化整款数	室号	捐款实数	化整款数
A	$9.25	$9.00	C	$4.50	$5.00
B	$13.49	$13.00	D	$16.75	$17.00



1. 水平条带图



2. 图像单位带图



3. 实物柱形图

标度　在典型的图表中，数量标度是垂直排列的。靠近基线的是最小量（通常为零）。数量标度的说明表达标度所用的单位，如美元或吨。标度应力求简单，并尽量少用 0。用 1 到 6 为标度总比从 1 000 000 到 6 000 000 要容易读认。省掉的 0 则必须以如"百万美元"或"人口（单位百万）"之类的短句来标明。

如图表涉及的是时间序列，通常是将时间标度写在图底，其中最先的时间写在左边。时间标度的名称——年、月或小时——可直接标在数据所在处的正下边。

若数据都画在线上，标度名称就应写在该线之下。若数据画在线与线之间，就写在两线之间。

数值的简单比较

比较条带的长短，比比较面积（如正方形和圆）或体积（如立方体或其他图像）要容易得多。因此，常用水平的条带对不同数量作简单的比较。

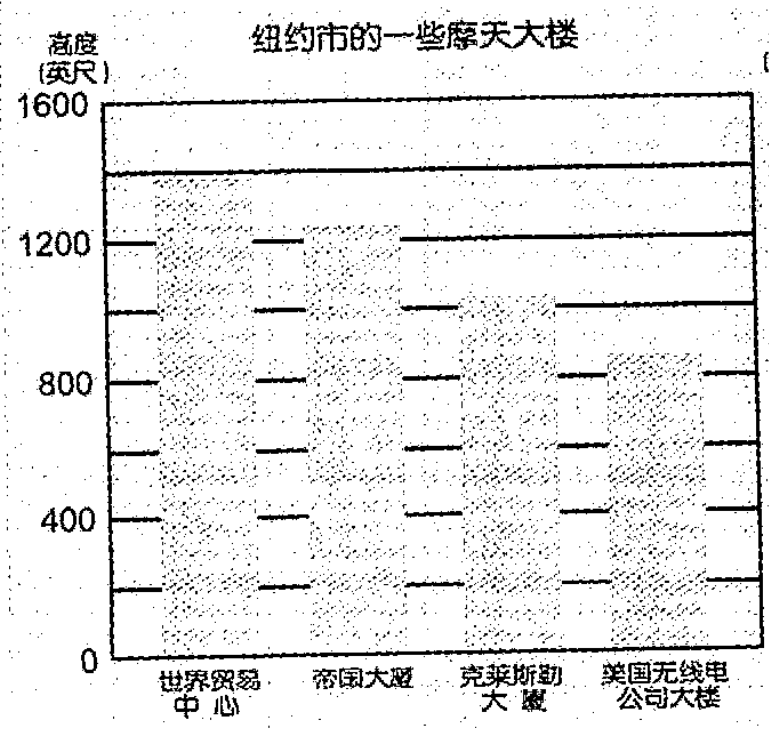
若学生们要作一图表来表示他们校舍中各室为慈善机关收集捐款的记录，他们便会先作一统计表（如前面所示之图），表示其收款的实际数。然后，将款值约写成整数。注意，$4.50 的约化整数为 $5.00，而 $13.49 的约化整数经四舍五入法而为 $13.00。而其中最高款的约化整数为 $17.00。因此，所用标度无需高过 $20.00。

图表 1 是作图纸上的水平条带的设计图。条带可按其大小顺序来排列，以最长的条带放在顶上，而不按字母次序。若用字母顺序，如图表 1 所示，则室号便可很快定位。条与条之间的空隙度，应不超过条宽之半。垂直的格线可省略掉。

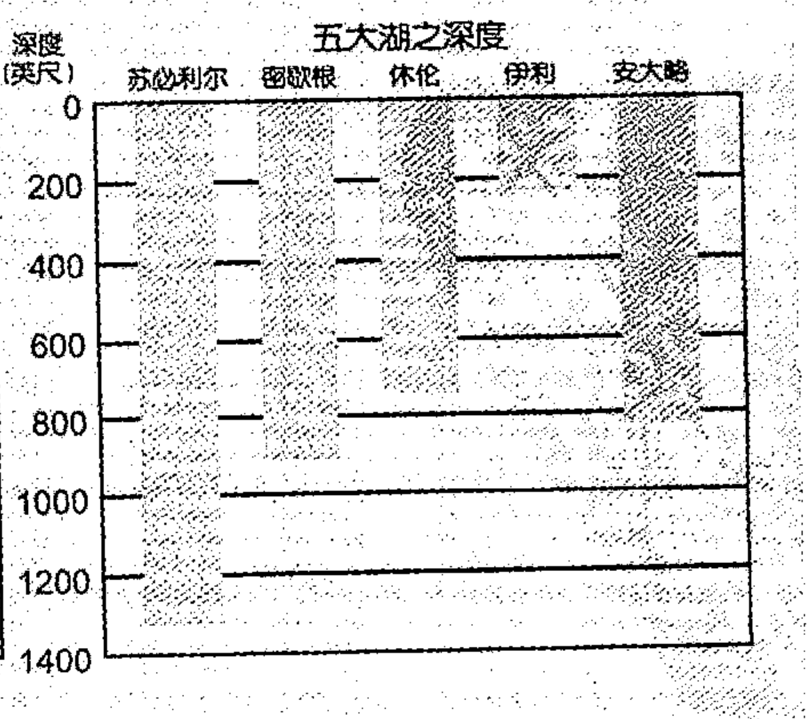
在图表 2 中，水平带为一行一行的符号。每个字母符号代表 1 美元。在图表 3 中，用一摞摞的硬币，来代替水平带。请注意，图表 3 中有代表小于 $1.00 的符号。由于这些符号已表示出各室的收款数，就用不着数量标度了。

不用水平条带，而用垂直条带来表示建筑物的高度和湖的深度，似乎更自然些。图表 4 中，条带从 0 的底线上伸，以表示各建筑物的高度。在图表 5 中，条带从基线向下伸，以表示水的深度。图表 4 中将各建筑物的高度，按递减的顺序排列，而使它更易于比较。图表 5 中，条带的顺序是

简单大小之比



4. 柱形或竖直条带图



5. 柱形或竖直条带图

按各大湖从西到东的地理位置顺序排列。

表示百分比的条带图和圆形图

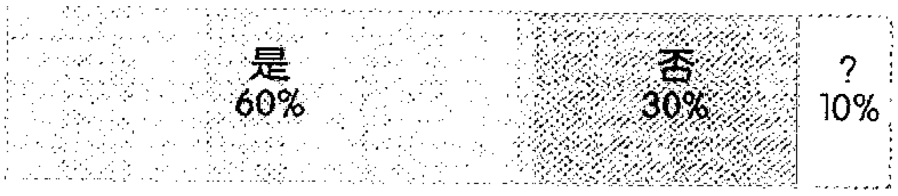
有时以百分比为基础来比较比用绝对量更好。为此，往往采用圆形图与条带图。整个的圆或条带代表 100%。

学生们在校内举行民意测验，来看有多少学童愿意参加校中的某种活动。以 50 个学童作为抽样样本，30 人回答“是”，15 人回答“否”，有 5 人答“未定”。这个民意测验结果可用一条带图或一圆形图（也称饼状图）来表示其百分数。对条带图，只要找出投“是”，投“否”和投“未定”的各自所占的百分比；然后，按大小顺序确定各条带图的尺度。对圆形图，则要把百分比先化为度数，用后者来切分圆。一全圆为 360°。

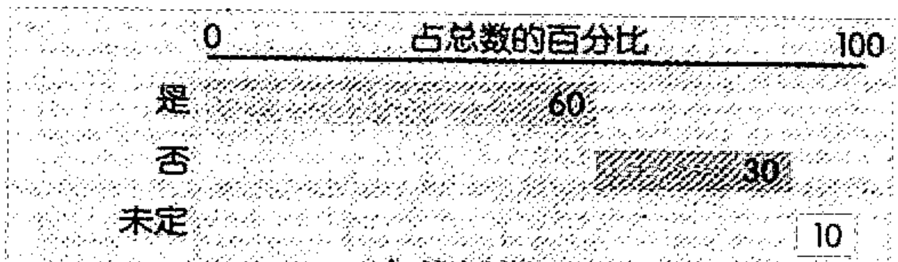
条带和圆形的百分比图

	儿童人数	占总数之百分比	度数
是	30	60	216
否	15	30	108
未定	5	10	36
总	50	100	360

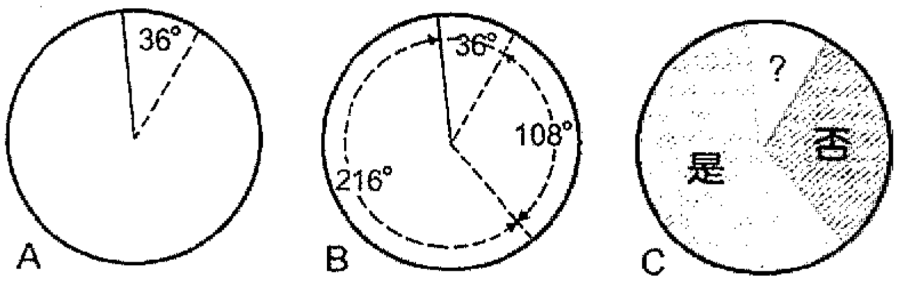
多少学生将参加校游艺会



1. 矩形带或划分图



2. 条线划分图



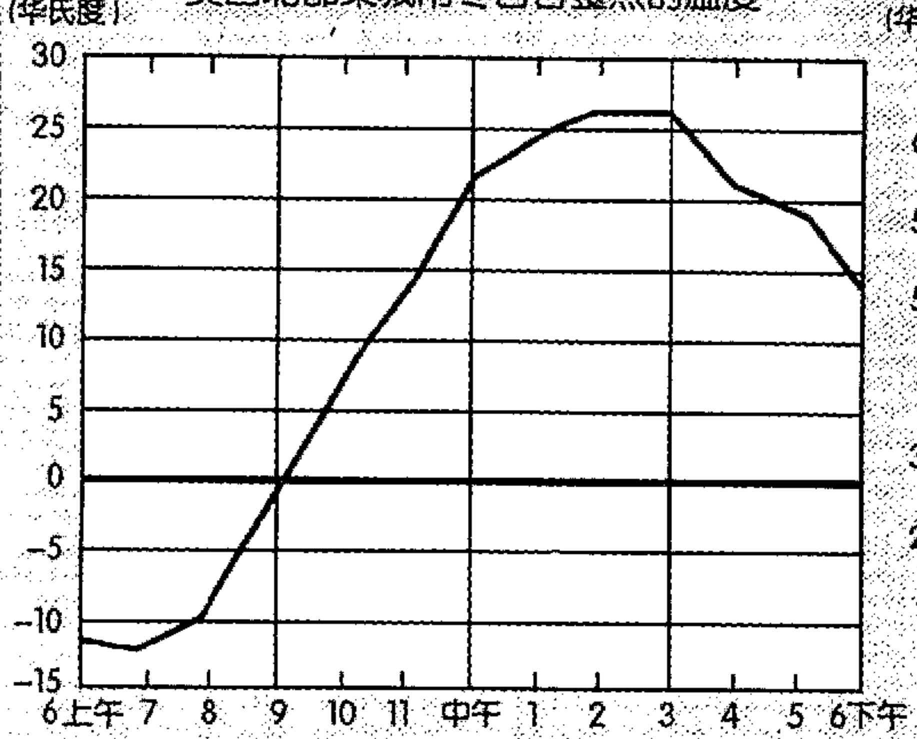
3. 圆形或饼状图

上面的图表 1 表明了民意测验结果以百分数或长方条表示。方格线则不必要，因为每条部分都已标明名称和各自所占的百分比数。图表 2 中则将条带分割为三个部分，尽管所指示者仍如前。

图表 3 中的图解 A 和 B，表示作圆形图的先后顺序。按所需大小用一圆规作圆。从圆心处，作一到圆周上的直线段。此线段即圆的半径。使量角器的底线与此半径相重合，而在圆周上 36°角处作一标记，通过该点又作一半径。从这半径起过 108°再作一半径。剩下的扇形则应为 216°。而整个为 360°的圆周正好代表 100%，这些和条带图所表示的完全一样。

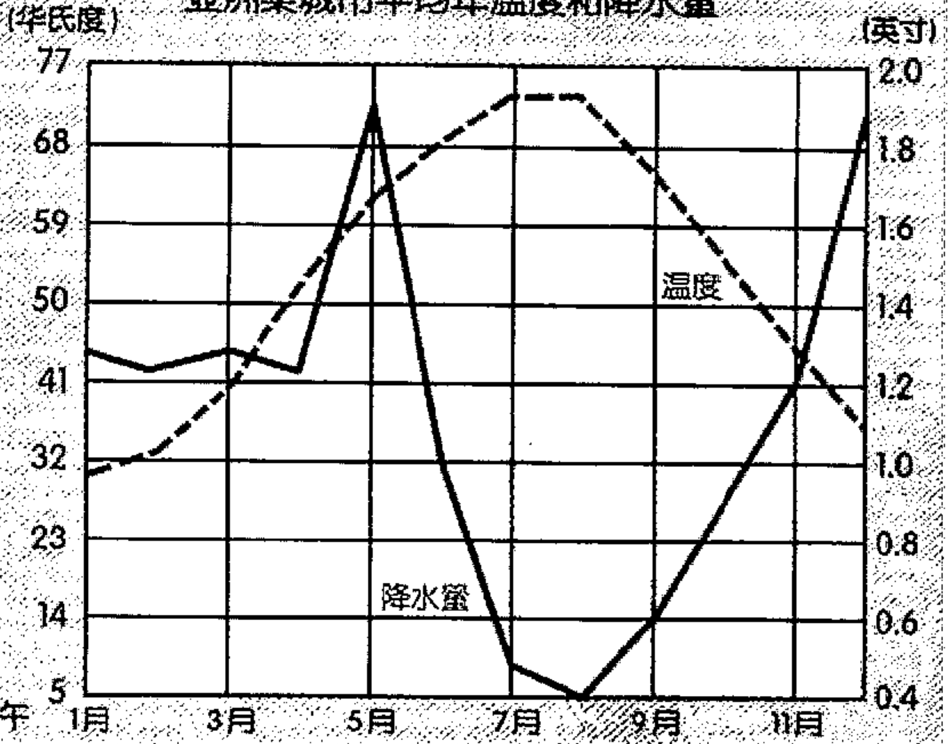
时间顺序曲线图

美国北部某城市冬日各整点的温度

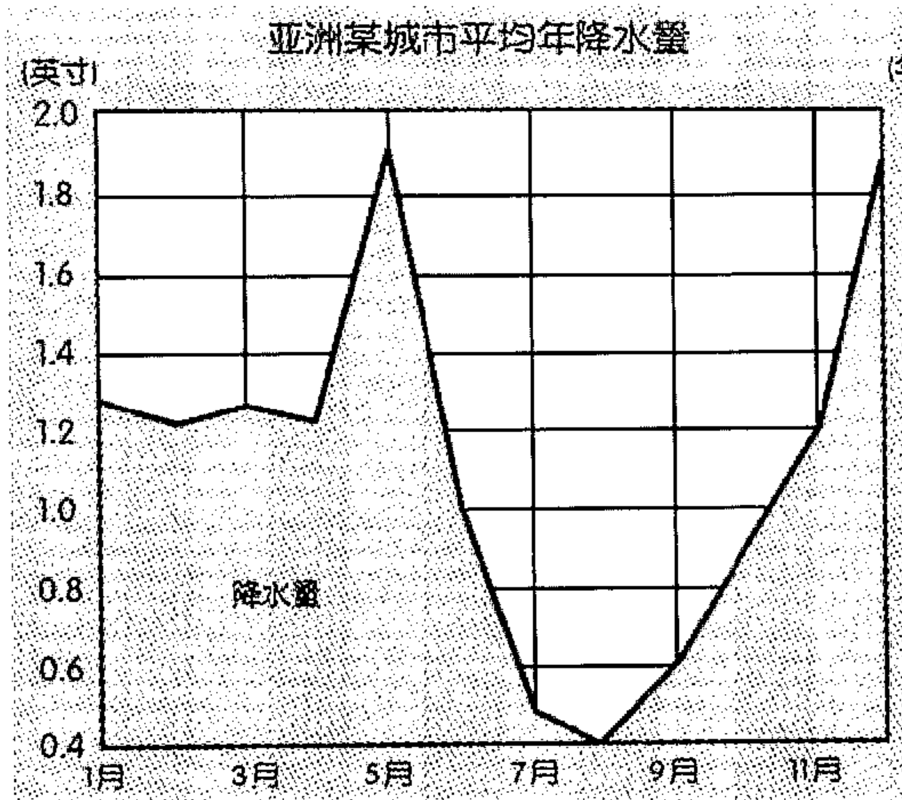


1. 简单曲线图

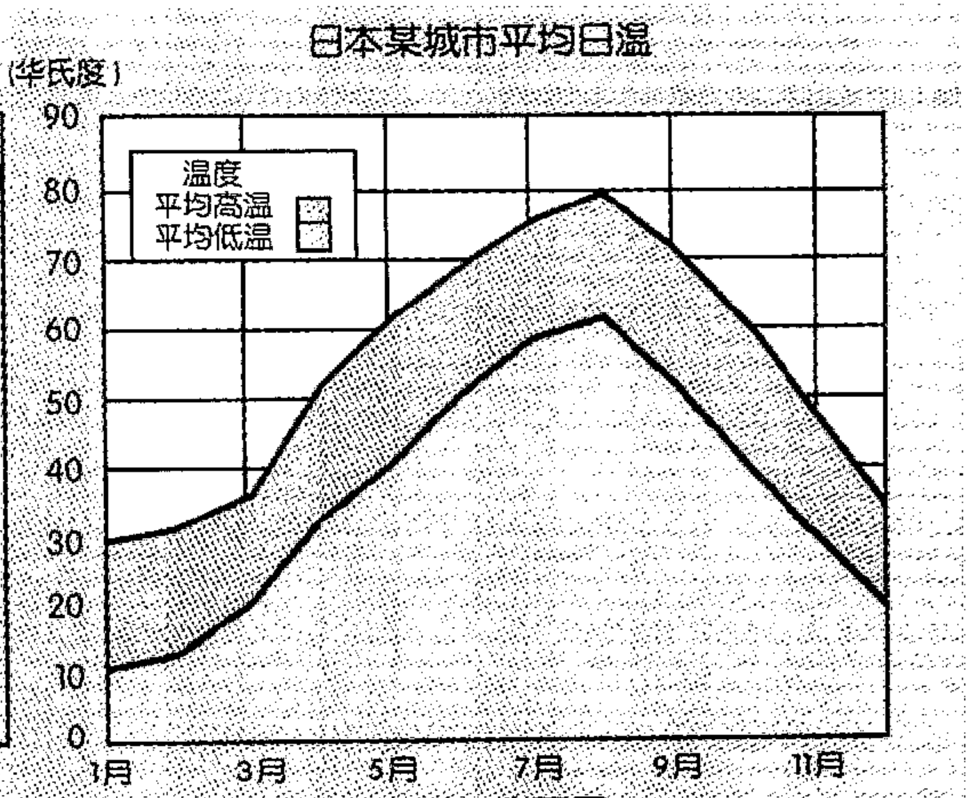
亚洲某城市平均年温度和降水量



2. 多重曲线图



3. 面图



4. 细分面图

时间顺序曲线图

到此，我们图表中各项的数值，均属同一时刻之值。但图表最重要的用途之一，就是显示出经历一段时间的变化过程。曲线图和条带图均可用于此目的。当我们强调的是运动变化，曲线图往往更为可取，因为经过方格纸面上的曲线，能即刻给出一变化趋势的图像。

时间标度写于底线上，尺度大小一般标在左方，但若主要关心的是近期量，则可标在右方，如表示股票市场价格的图形。若分格过宽，则应在两边分别标注尺度。

“时间顺序曲线图”的图 1 中，尺标不是从 0 开始，因为零上和零下的温度都要记录。但 0 线要画得比其他线粗。时间尺度标注直接位于一些垂直线之下，这是因为温度读数就在每小时整准时读取，而不代表一小时中的平均值。这些温度点就直接画在所标时刻的上方，再把它们用直线连起来。

图 2 中，在同一坐标方格上，有两条曲线。将这两条线作比较，便清楚地看到：除 4 月份外，降水量随气温升高而下降。

图 3 中，所强调的是曲线下的阴影面积区。图 4 中，分界面把平均高温与平均低温区分开来。

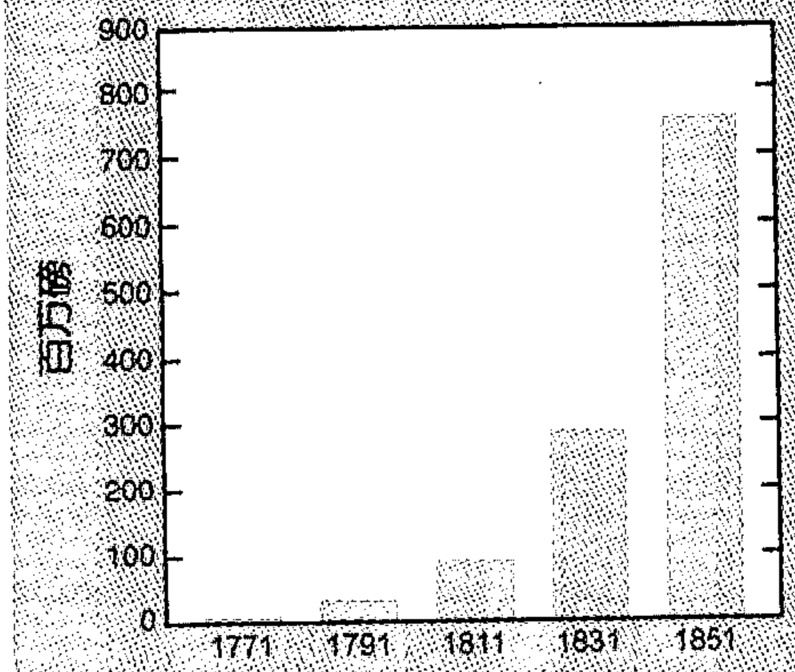
时间顺序条带图

经历一段时间内的有限次数的变化，用条带图表示往往比用线图表示更为清楚生动。凡涉及时间的，用纵列比用水平带更好。时间尺度应标在底线上。通常将垂直方格省略掉。若所强调的是总趋势而非某些特殊量，水平方格亦可省略。

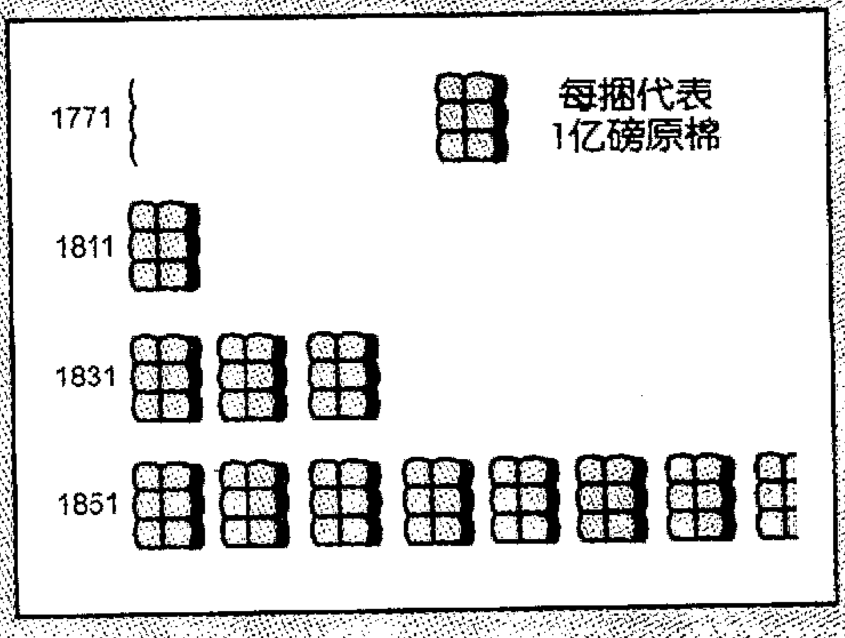
若时间顺序以图画形式表示，用水平行列的符号，比用垂直的更好。时标则移到左方，其中最早的时间放在顶部。图 6 以形象的方式表示了图 5 中的大致数据。有时值得用两套或更多套的条带画在同一图上，把两个或更多个系列

时间顺序条带图

工业革命时期英国的原棉进口量

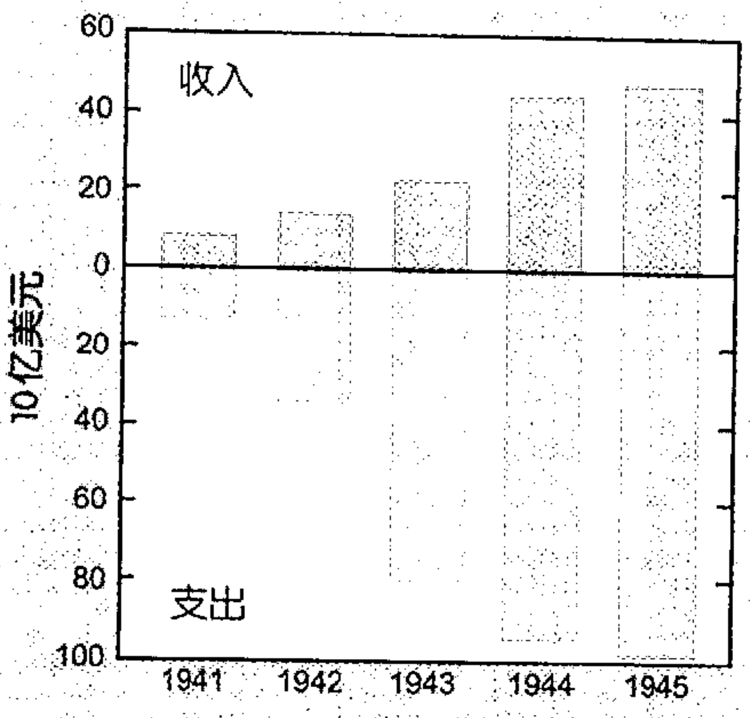


5. 简单柱状图

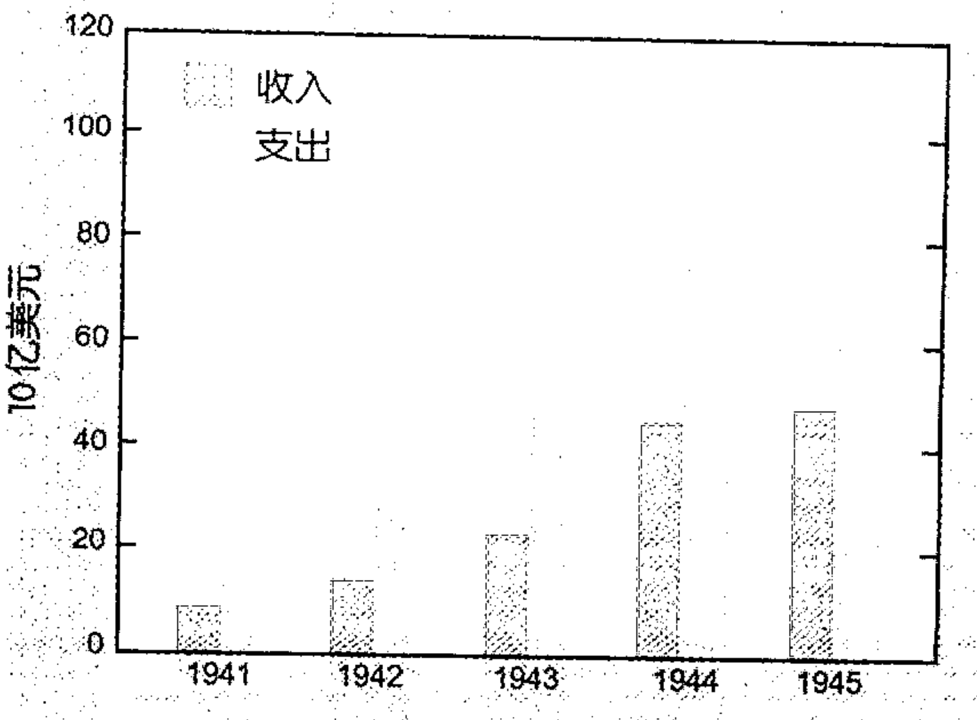


6. 形象单位条图

1941-1945年大战期间美国的政府收支



7. 浮动柱状图



8. 复合柱状图

的相互关联的数据作比较。图 7 和 8 则表示两种对照收入与支出的方式。图 7 属漂浮图，所以这样称呼是因为零线是漂浮着的，而第二标尺度从零线下伸。图 8 属复合的柱状图。每个柱上有两种深浅的双条带，将每年的收入和支出，作一直接对比。

图 7 容易比较逐年的收入与支出。不过，比较每指定年度的收支时，图 8 更易看清。

曲线图和直线图

连续的时间序　若要绘大量的数目数据是连续变化的，则用曲线图较条带图为佳——即，所代表的序列是不间断的。(下页)图 1“1938－1945 年间美国股票市场的涨落”，一眼就可看出曲线的上升趋势。

关系图　数学家们一致认为：将两组有联系数据的关系，以图的形式来表明，往往是很有益的。若两者间有准确的对应关系，则诸绘点的连线将为一直线(见后面图 2“直线关系图”)，或为一光滑曲线(见后面图 3“曲线关系图”)。

用英尺每秒和英里每小时表示的两种速度之间有完全准确的关系。在画出的关系曲线中，30 英里/小时与 44 英尺/秒的速度大小完全一样。60 英里/小时的速度相当于 88 英尺/秒的速度，而 90 英里/小时则相当于 132 英尺/秒。先在横格线 30 与竖格线 44 处置上点 A(30,44)。然后同样置点 B(60,88)，因此就可过这两点作出一直线。为对此直线作核对，可再定一点 C(90,132)。若该直线不通过 C 点，则肯定其中有误。

图 3“曲线关系图”显示出三条不同曲线的相互关系。

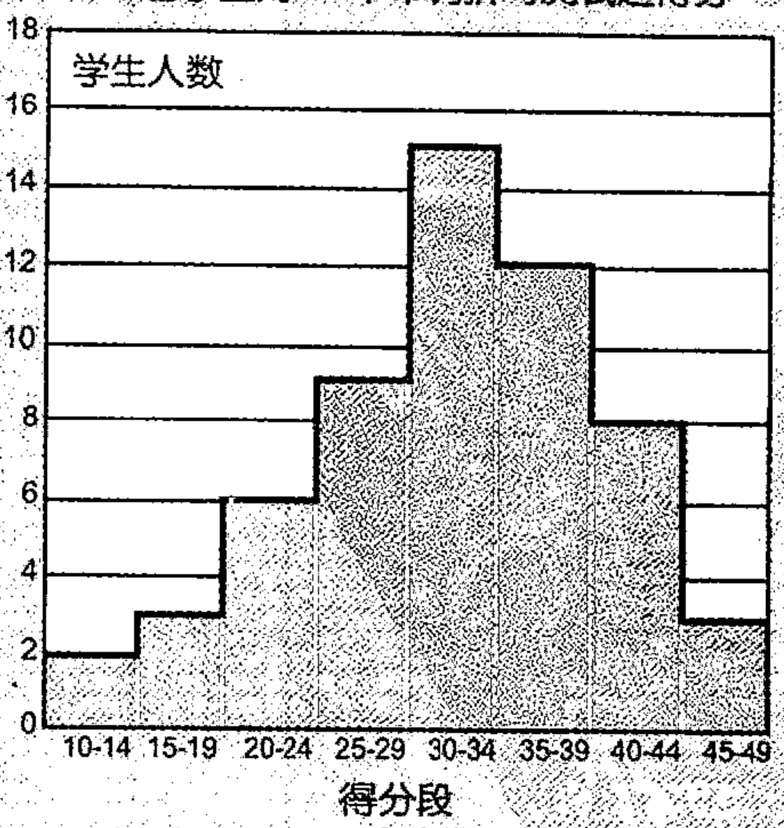
简单频率分布

为了画出统计数据，数字必须按一些系统的顺序安排。我们已看到，对时间顺序图而言，数据是按事情发生的时间顺序而分布的。对某些类型的数据——包括如对高度、重量或比赛得分的测定——并不涉及时间因素。为了描绘这样的数据，找出每一测量出现的频数是适当的。这可通过将数据分组来完成。例如，将从 10 到 14 的范围归为第 1 组、15 到 19 为第 2 组，如此继续下去。这样的分组称为频率分布。

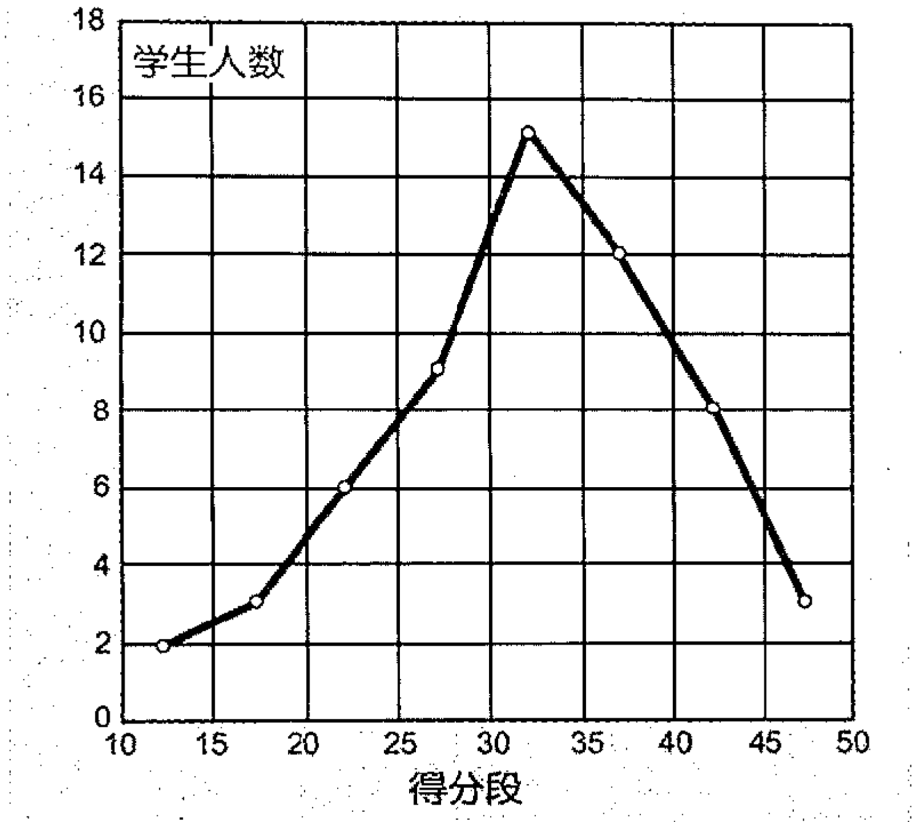
简单频率分布

分类区间	记数号	得分人数
45-49	|||	3
40-44	卌 |||	8
35-39	卌 卌 ||	12
30-34	卌 卌 卌	15
25-29	卌 ||||	9
20-24	卌 |	6
15-19	|||	3
10-14	||	2

58名学生对 50 个单词拼写测试之得分



1. 直方图



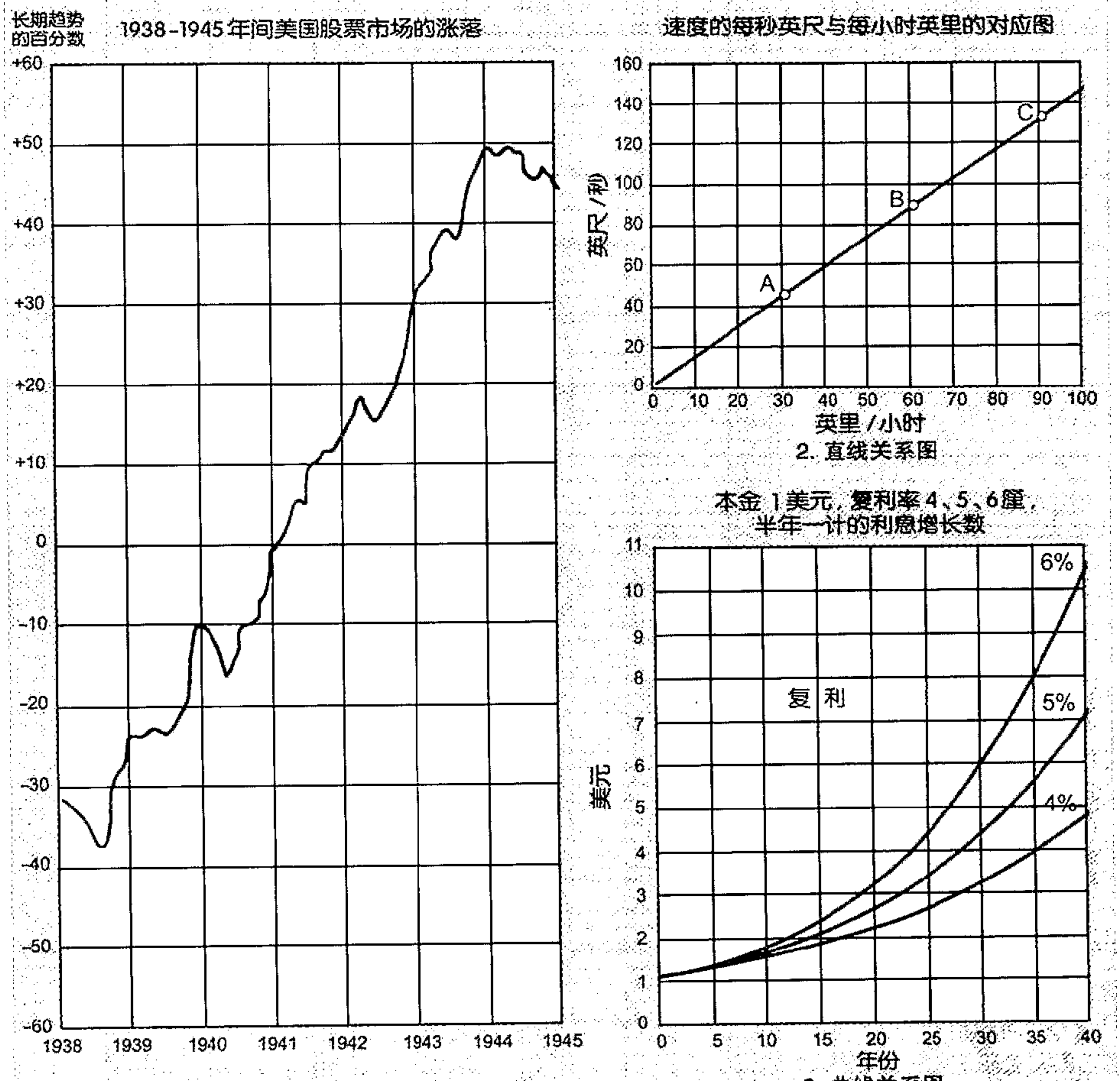
2. 频率多边形

某教师对58个学生进行了一次拼写测验。测验中有50个单词，按拼对了的词数给分。结果，测验得到的最高分为48，而最低分为11。两者之间的得分则全未记。这些得分者当然不止一人。为对得分的分布情况提供一清楚图像，可将每隔5分为一得分间隔，列表看每个间隔得分的频率。表中每一个记号代表一个得分者。这些间隔取得足够宽，而不致有空档。

直方图 又名矩形图。（前面）图1就称为直方图，或矩形频率多边形图。水平标度代表按大小顺序排列的测量结果。水平标度的第1个区间用来代表第1个得分间隔。由于学生得分无低于10分的，所以标度是从10－14的间隔开始。垂直标度，和普通标度一样，是从0开始的。

作图时，在每种间隔的垂直或频率标度上的适当高度处，作一水平直线。结果形成了一系列的连接柱，每个柱代表图中的每一类间隔。每一间隔所出现的数或频率，用柱的高度来表示。直方图与垂直条带图形式相似而描绘同样的信息，因都是对柱长作比较的。但是，在直方图中柱与柱间是无空隙的，因其序列是不间断的。

曲线和直线图



1. 连续时序

2. 直线关系图

3. 曲线关系图

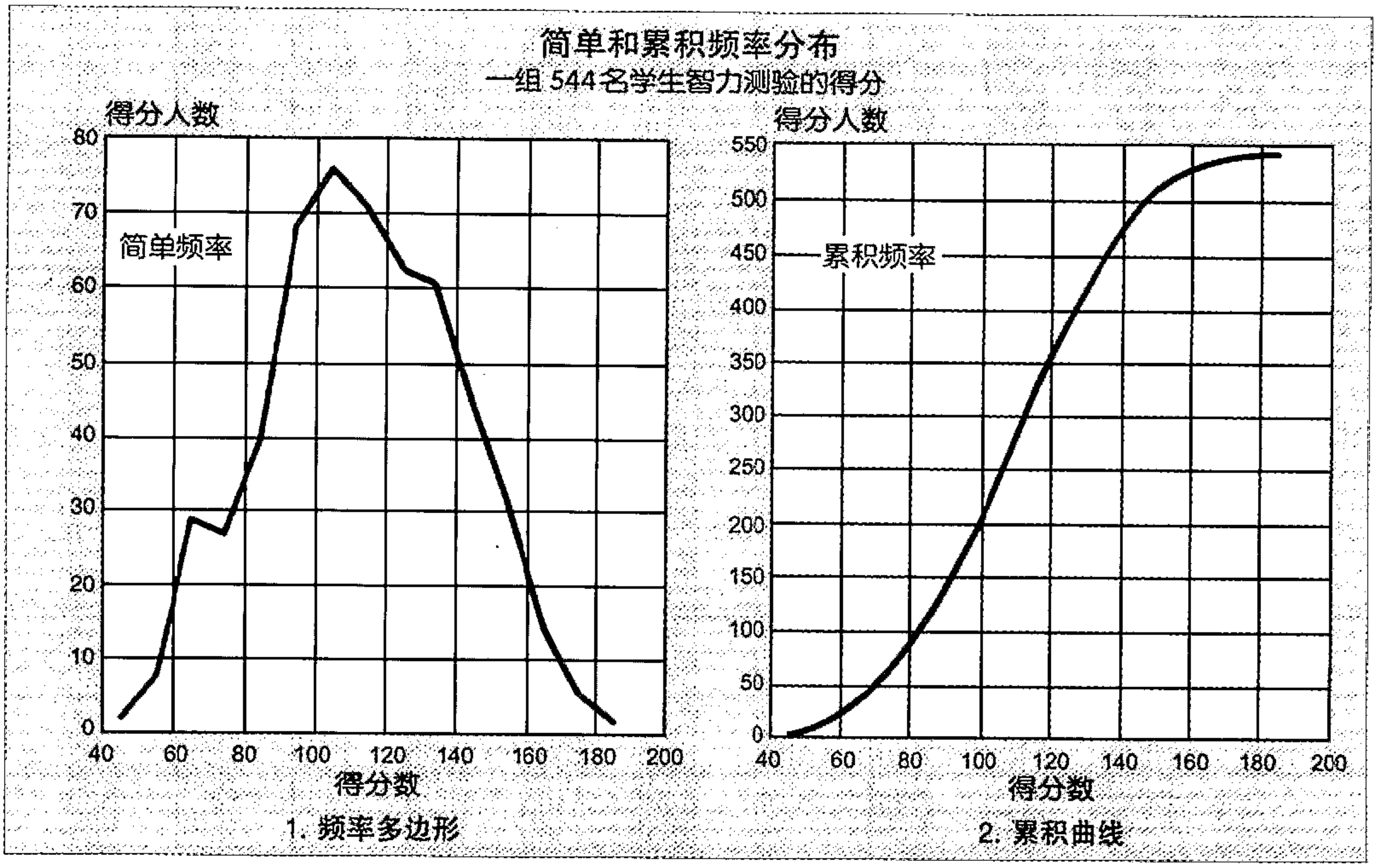
频率多边形 任何可用直方图来表示的数据，也可用一频率多边形的线图来表示。排写测验得分频率表既可用来绘制图1，也可用来绘制图2（见前面"直方图"与"频率多边形"）。

为作频率多边形，要假定得分在每一个区间内是到处均匀分布的。沿水平标度，一个组的下限被用做前一组的上限。所作的点位于区间的中央，而具有适当的高度。例如，为表明得分在10－15区间，将一点置于10与15中央的水平标度$12\frac{1}{2}$处而垂直标度2的线上。为表示下一区间有三个得分者，将一点置于水平标度$17\frac{1}{2}$（15－20区间的中点），且垂直标度在2与4的中间处。当作出所有点后，点接点地用直线连起来（见前面"频率多边形"）。

简单的和累积的频率分布

图1和图2中的频率表，表明544名学生，在一组智力测验中得分的分布。请注意：所列图下之得分表，在第1横列中是发生的频率，第2横列是累积频率。累积频率序列是其前相继的每区间的单频率的累加。因此，在每个累积序列中，包括了所有以前的频率数。

图1是一频率多边形。它是根据表中的第一横列所绘成的。图2是根据表中的第二横列绘制的，后者为一累积曲线。数据的累积效果是趋于把曲线之涨落平滑化。要注意到：曲线顺对角线方向走过方格而成一S形状的曲线，这S状曲线为累积曲线的特征。



分数段	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99	100-109	110-119	120-129	130-139	140-149	150-159	160-169	170-179	180-189
简单频率	2	8	29	27	40	68	76	71	63	61	45	31	15	6	2
累积频率	2	10	39	66	106	174	250	321	384	445	490	521	536	542	544

对数尺度的比例图

假设有一人口原为6 000的城市，经过10年后增至6 600。绝对增长数可以表述为：本城市人口比10年前增加了600人。但若要表示相对于原来人口的增长率，则可说成是：本城人口10年增加了10%。若另一城市的人口在同期由12 000人增至12 600人，则两城市人口的绝对增长量是一样的，但后者的相对或百分增长率却只有5%。因此，变化率或百分增长率不但与变化量也和底数有关。

下页"算术和对数格图的比较"中的图1和图2表明在一培养液中，细菌繁殖的增长量。图1中表示的是绝对增长量，而图2中则为增长率。两图的时间标度相同，垂直格线亦同，两者均上升到500 000。两者所不同的，是在其水平

格线的距离即纵轴的标度上。

在图 1 中,水平格线是等距离而代表相等的量。这种标度称为算术网格。在图 2 中的水平格线不等距离,而画得直接反映百分比变化。这种标度称为对数网格。其实,它是半对数的,因为它有一算术网格。水平和垂直格线都画成对数网格是少见的。

10 与 1 的绝对差值为 9;100 与 10 则为 90。但是,10 与 1 的比值和 100 与 10 的比值相同——都是 10 比 1。在对数或比例标尺上,1 与 10 相距和 10 与 100 相距一样。在标尺上,100 与 1 000 相距也和 1 与 10 一样,因为 100 与 1 000 的比值同 1 与 10 的比值一样。

在对数尺度上,相同的间距代表相同的百分比。例如,在某段时间中,在两个菌落中的群体,都增长了百分之十,则两曲线都上升了同样的距离,尽管菌落为一大一小。这两条曲线便是两平行线。

统计地图

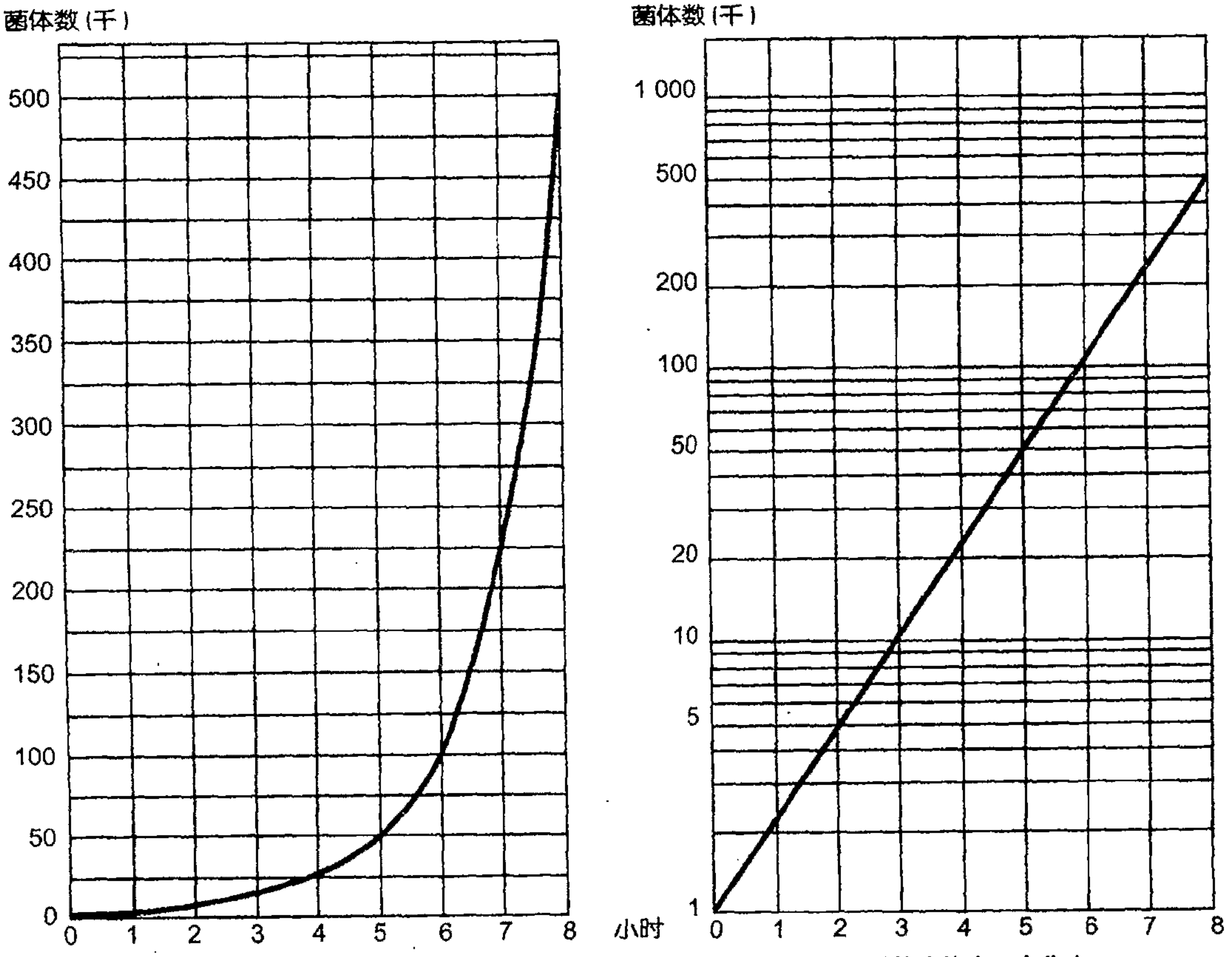
统计地图能比较数量,同时也指出量的所在处。平的线条地图,其上无山脉河流或国家与城市名称的、一般用做统计图表。

同项中的相对量可用多种方式来表示。用阴影的或白色的地图,黑色一般表示最大的量,而白色则表示所研究的项目空缺。在黑白之间,注有项目标号的各种阴影或网纹部分,反映相对量的大小。也常用带色阴影,加以细分。

还可以用圆点来表示变化的量。每个点代表一固定量。当用不同大小的圆时,圆的大小代表不同的量。当用大小都相同的点时,它们在最大密度处集中。有时条带图与地图合用,表示相同项目的产品的相对量。

算术和对数格图的比较

培养液中细菌的增长量



1. 算术格线表示绝对增长

2. 对数格线表示变化率

算盘 ABACUS

在采用印度-阿拉伯记数法之前,人们记数、做加减法都使用算盘。算盘是今天的计算机的先导,它可能是古代美索不达米亚的苏美尔人发明的。算盘这个名称来自希腊文 abax,意思是"木板"或"进行计算的桌子"。古希腊人和罗马人使用卵石和金属圆片做计数的筹码。他们在有标记的木板上移动这些筹码来解题。后来,这些筹码被金属杆穿起来镶在一个框子里。

人们利用这个工具代替手写计算,因为用他们那种麻

烦的计数法不能简便地十进位。以字母代表数字的罗马计数法统治欧洲将近 2 000 年之久。然而对于罗马数字，即使是简单的加法，例如 XIII＋LXIX，也是困难的。

古代埃及人、印度人和中国人也使用算盘。采用印度-阿拉伯计数法后，把零当做一个数来用，使笔算变得容易了，于是在欧洲不再使用算盘。不过，在亚洲，特别是在中国，人们仍然使用它，尤其是在商业活动中。

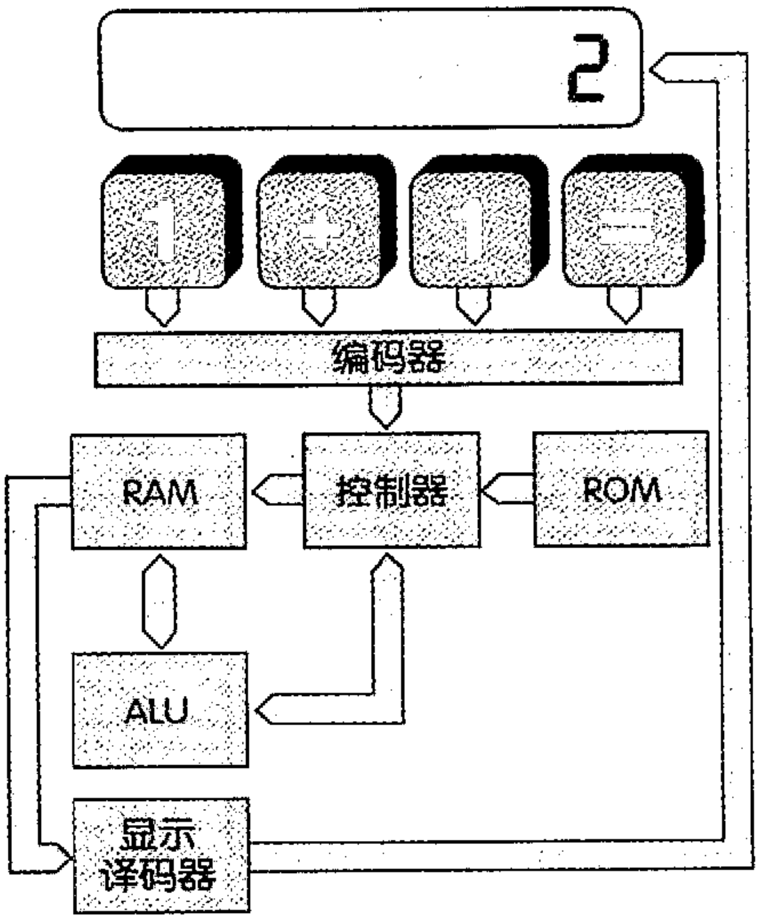
早期的算盘，每个金属杆上穿 10 个算珠。现代样式的算盘则有一个起分隔作用的梁。在梁上面的算珠代表 5，梁下的算珠代表 1。不必使用值大于 5 的算珠。

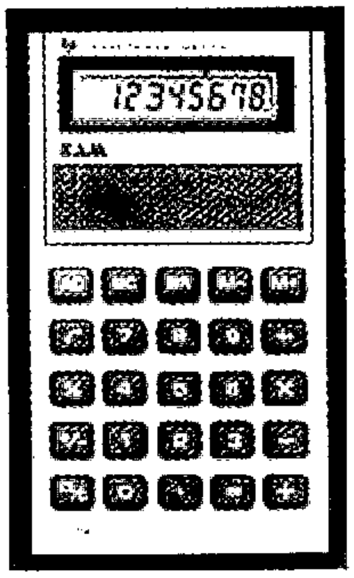
计算器 CALCULATOR 能自动完成算术运算的机械、机电或电子装置叫做计算器。计算器能完成基本的数学运算——加法、减法、乘法和除法。有许多计算器还能做较复杂的计算，如三角函数和反三角函数的计算。少数近代的发明，如手提式或袖珍型电子计算器，对工业化国家的日常生活已经产生了深刻的影响。这些计算器可以使人节省时间，减少差错。在常同数字打交道的地方，无论是商店、办公室、银行、学校、实验室或家庭，人们都可以找到计算器。

早期的计算器都是机械的：它们利用机械零件，如圆盘、鼓轮、齿轮等来实现计算，而这些机械零件是由手或后来由电力驱动的。20 世纪 50 年代中期，许多这种机械的计算器被装有集成电路的电子计算器所代替。电子计算器的集成电路在完成数学运算方面有些像电子计算机中的电路。事实上，今天高级的电子计算器已经是专用的电子计算机。它们装有如何进行某种有限运算的内存指令。

计算器同其他数据处理系统一样，有两种类型——模拟的和数字的。模拟计算器是以变化的物理量（例如流体的流量或电压）来工作的，它通过建立物理模拟来解决数学问题。时钟、计算尺和各种用途的仪表都是模拟计算器的实例。数字计算器包括大多数通常被认为是计算器的装置。它们直接同数或数字打交道，通过计数、列表、比较和重排这些数字来工作。普通数字计算器包括加法器、现金出纳机和手提式或台式电子计算器。

计算器如何工作

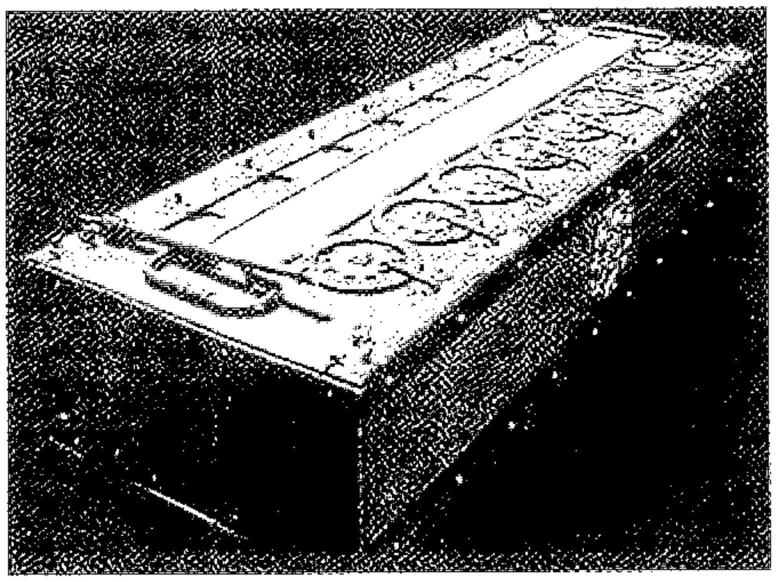




示意图指出袖珍型计算器是如何工作的。编码器把从键盘传来的全部信号变换成电脉冲，它们与计算器电路能处理的二进数对应。编码后，控制器把信号或者传送至随机存取存储器（RAM）中的一个存储单元中，或者传送至算术逻辑部件（ALU）。控制器是按照从只读存储器（ROM）中取来的指令来安排程序的。ROM 包含了计算器执行正确无误的运算所必需的全部电子指令。例如，有些计算器为做 1＋1 的加法可以执行下列运作：当"1"键按下时，1 的电子等价物通过控制器被传送，并寄存在 RAM 的存储单元（地址）中，等待以后处理；完全相同的信号传送到显示译码器被显示。当"＋"键按下时，相应的信号通过控制器传送到 RAM 的另一个地址。这个"相加的命令"被存储起来，直到需要用到它的时候。当"1"键再按下时，信号同以前一样被处理，但它被寄存在单独的 RAM 地址内。当"＝"键按下时，ALU 接收到指令：把存储在两个地址中的数相加，并把得到的和数存储到另一个 RAM 地址中。一个完全相同的和数被送到 RAM 地址中，从那里能把它自动地送到显示译码器显示出"2"。

机械计算器原理

大多数机械计算器的基本部件是一组数字加法轮。在键驱动机械计算器(以及大多数其他计算器)中,数字加法轮从机器正面的一排小窗口中可以看到。每个轮的边缘标有从 0 至 9 的数字。每个轮下面是标有相同数字的一列键。当按下数 1 的键时,数字轮转动 1 步;按下数 2 的键时,轮转动 2 步;以次类推。当数 1 键、数 2 键相继按下时,轮先转动 1 步,再转动 2 步,最后指示数 3。因此,通过把数简单地输入键盘,一列数就能快速地被相加,并在窗口指示出它们的和数。数字轮之间的联锁机构能自动提供进位。乘法通过重复做加法来实现;减法可以用间接的方法做;而除法通过重复做减法来完成。



第一次用在法国数学家帕斯卡 1642 年发明的加法机上的数字加法轮。

电子计算器原理

电子计算器的运算是由集成电路实现的,集成电路是由千万个晶体管排列而成的。集成电路内包含加、减、乘、除等运算的永久性指令(在较高级的计算器中还装有其他函数的运算指令)。由操作人员输入的数暂时存储在 RAM 的存储单元(地址)中,RAM 在任何时刻都为计算器使用和产生的数留有空间。存储在这些地方的数,而后由包含数学运算指令的电路来处理(见计算器工作示意图)。一般地说,加法和减法是基本运算;乘法是当做一系列的加法进行的,而除法是由重复做减法实现的。

历史

最古老的计算工具是算盘,它已被使用了数千年。算盘由许多可移动的算盘珠组成,这些算盘珠或者放置在有标记的木板上,或者由金属线串在一起。计算尺常被认为是最早的成功的模拟计算器,它的早期形式是由英国数学家冈特于 1620 年发展的。计算尺最初是利用数的对数的加法或减法来做数的乘法或除法的。后来计算尺还能开平方,有些还能计算三角函数和对数。

最早的机械数字计算机器是法国数学家帕斯卡 1642 年发明的算术机,它是现代计算器的前身。17 世纪晚期,莱布尼茨创造出更先进的帕斯卡机。这种机器利用一个带固定齿的轴和一个带 10 个齿的齿轮。这个显示在刻盘上的齿轮的边缘标有 0 到 9 的数。当机器被调置到比如数 4 的时候,轴移动 4 个齿,这些齿同齿轮是联锁着的。当轴转动一次,齿轮进展$\frac{4}{10}$转,因而使刻盘上指示的数增加 4。用这种方式就可完成加法。当做 4×5 的乘法时,机器调置到数 4,然后让轴转动 5 次。轴反向转动可使数字进位。除法由重复做减法来实现。

1878 年奥德纳发明了销轮。当使用这种装置的机器被调置到某一数时,与此数对应的销会在主轴携带的轮上升起。主轴转动时,销与齿轮联锁,而齿轮的转动会以与莱布尼茨机同样的方式给出和数的答案。销轮的发明使得有可能造出更灵巧和更方便的从动机。

最初商业上成功的键驱动计算器是由费尔特在 1886 年发明的。键驱动计算器可以操作得非常快捷,故常用于办公室。有一种键驱动计算器叫做键盘机,它的数键最初是平卧的或翘起的。然后第二个行动——转动曲柄或起动传动马达——把键入键盘的数传输到数字轮。键盘原理也应用于在纸带上打印结果的计算机器上,因为它不可能直接由键驱动打印机。

最初商业上成功的转动计算器是由鲍德温和门罗于 1912 年研制成功的。转动计算器装有一个转动机构,能把键入键盘的数传送到加法轮部件。由于旋转传动适宜于高速重复加法和减法运算,所以这种计算器能快捷、自动地做乘法和除法。

专用机械计算器 包括现金出纳机,它是 1879 年零售商店店主里蒂为了确保他的店员的诚实而发明的。最早的登录账目机是 1891 年由银行职员巴勒斯制成的,这是一种加法打印装置。最初用于控制织机操作的穿孔卡机是在 19 世纪 80 年代由美国人口调查局的霍勒里斯改造成适合于信息处理的。穿孔卡机从穿孔卡上读出信息,穿孔卡上孔眼的花样代表不同的数和文字。

电子计算器的发展 20 世纪 40 年代和 20 世纪 50 年代电子学的发展使电子计算机和电子计算器的产生成为可能。20 世纪 60 年代推出的台式电子计算器能实现与转动计算器相同的功能,但没有实际的运动部件。小型固体电子器件的发展带来了一系列的电子计算器,这些电子计算器比机械计算器有多得多的功能和快得多的运算。今天,大多数机械计算器已被电子计算器代替。

大多数现代手提式电子计算器不但能完成加、减、乘、除运算,而且只要按动适当的键还能处理平方根、平方和百分比。数据输入后,最终结果就显示在使用发光二极管(LED)或液晶显示(LCD)的屏幕上。

专用计算器在商业、工程等领域的应用已有很大发展。有些专用计算器能处理系列任务,同较大的电子计算机完成得差不多。高级的电子计算器能用复杂的数学公式编程序。有些还采用可互换的、编好程序的预制软件,其容量达 5 000 步程序,甚至还要多,尽管必要的数据输入仍要用手工操作。许多部件都有内置的或附加的打印机,有些还能标绘数据点和打印字母。有些计算器还制造得能在显示屏上玩初步的计算机游戏。

欧几里得 EUCLID

据说在西方世界,欧几里得的《几何原本》是仅次于《圣经》的译本最多、发行最广、研究学习者也最多的一本书。对作者本人,人们却几乎一无所知。据记载,在公元前 323 年至约公元前 283 年在位

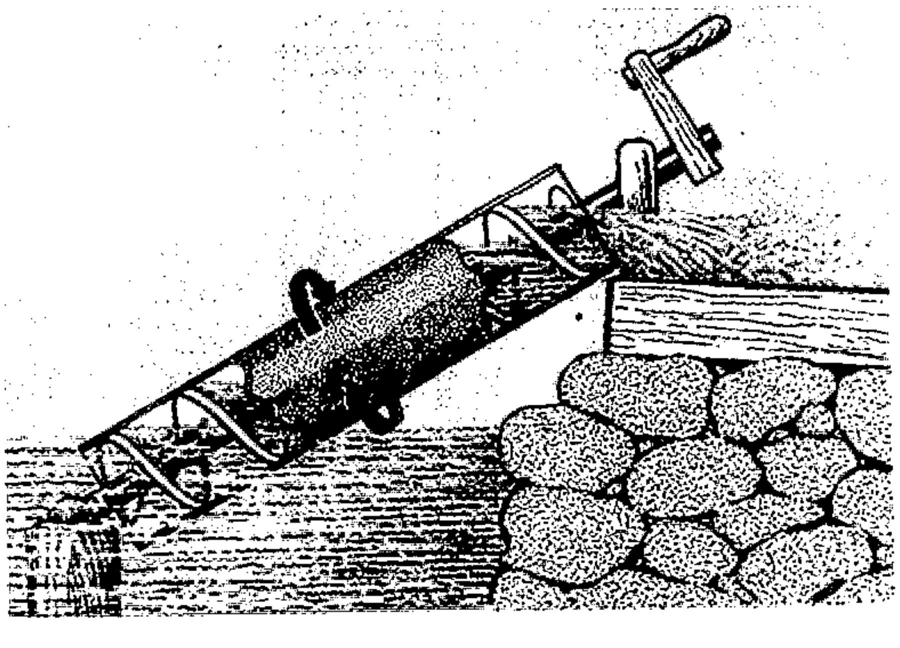
的托勒密一世索特尔统治时期，欧几里得在埃及的亚历山大城创办过一所数学学校，并在其中任教。从他的著作看，假定他不是第一流的数学家，至少也是第一流的几何学和算术教师。《几何原本》处于不受挑战地位的时间超过2 000年。直到19世纪中叶，才有一种非欧几何问世。（参见：**几何学**）

欧几里得编撰《几何原本》，依据了几位前人的著作，因而书的质量不平衡。《几何原本》一出版，就取代了先前的数学论著，成为标准课本。中世纪时，该书有三个阿拉伯文译本出现。通过这些译本，《几何原本》在欧洲广为人知。英国旅行家、哲学家阿德拉德（巴斯的）到西班牙，装作穆斯林学者，得到了一个阿拉伯文抄本。1120年他据此译成拉丁文本。第一个不通过阿拉伯文中介的希腊原著拉丁文译本是由赞伯蒂翻译，1505年在威尼斯出版的。后来又有一些较新的其他文字的译本。欧几里得的其他几何学著作有《数据》和《图形的分割》。他还写有《光学》和《音乐基础》。他的著作有些已经散失，也有些著作是误归于他的名下的。

阿基米德　ARCHIMEDES（前287－前212）　最先理解并运用杠杆威力的科学家。这位伟大的希腊数学家和发明家曾经说过："给我一个地方把我的杠杆放上，我就能够移动地球。"他也发明复合滑轮和阿基米德螺旋。阿基米德还是一位光辉的数学家，他帮助发展了几何学。他发现球体和它的外接圆柱体的表面积和体积的关系。（参见：**几何学；力学**）

传说阿基米德跨进装满水的澡盆时，发现了排水量原理。他理解到外溢出去的水的体积和他的身体的没入部分相等。经过深入研究，他推导出浮力原理，即阿基米德定律。根据这条定律，沉入液体中的物体所失去的重量等于同体积液体的重量。

阿基米德出生于西西里的叙拉古。他一生的大部分时间都在那里度过。当罗马人侵略叙拉古时，阿基米德发明了一些保卫这个城市的武器。他建议用许多反射镜使敌船起火。然而经两年围攻，罗马人终于入城，在城内的战斗中，阿基米德被杀。



在阿基米德的螺旋器中，转动叶片，水或其他液体就在管内提升。

阿波罗尼奥斯　APOLLONIUS OF PERGA（前262？－前190）　钦佩阿波罗尼奥斯的朋友们为他在几何学领域取得许多成就而称他为"大几何学家"。特别是，在阿波罗尼奥斯主要著作《圆锥曲线》中所阐述的圆锥曲线理论，为他赢得了同时代人的赞扬。

一个圆锥体可以切成几块，切出几种特殊的形体。阿波罗尼奥斯研究了这些圆锥截面，记录它们的形状，引进了椭圆、双曲线和抛物线这些术语来描述它们。他是认识到这三种曲线与圆一样都是任意圆锥一部分的第一个人。他的《圆锥曲线》使几何学的一个混乱不明的领域条理化，被认为是古代世界最伟大的科学著作之一。他的圆锥曲线理论至今对工程师和数学家仍然有用。（图见：**几何学**）

阿波罗尼奥斯生于佩尔加——一个古希腊城镇，位于今土耳其境内。他就学于埃及亚历山大城，后来在那里的大学任教。他曾游学到几所图书馆和大学以扩展自己对数学的理解。在阿波罗尼奥斯的许多著作（大多数已佚失）中，他提到那些在他之前研究过那个领域的人们。他总结他们的工作，并进一步做出他自己的贡献。只是在《圆锥曲线》的最后一卷里，他开辟了新的天地。除几何学以外，他还研究了光的特性和曲面镜反射光的途径。

笛卡儿　DESCARTES, René（1596－1650）　近代哲学和近世数学二者都发端于笛卡儿的工作。他的思想分析方法把注意力集中于我们如何认知的问题上，这一问题自那时起一直为哲学家所关注。他的坐标几何的发明为数学的发展开辟了道路。笛卡儿提出了解说太阳系起源的最早的现代理论之一。

笛卡儿1596年3月31日生于法国都兰大区的拉艾。在著名的拉·弗莱什耶稣会公学，他学习了哲学、人文科学、自然科学和数学。1616年在普瓦提大学获得法律学位后，他作为志愿人员到荷兰和巴伐利亚军队服役，增长了阅历。公务之余，他继续进行数学和自然科学的学习。由于他对当时科学上采用的杂乱的方法不满，开始怀疑数学知识之外的一切。

1619年，笛卡儿得出结论：宇宙具有一种数理逻辑结构，一种简单的推理方法可以应用于所有自然科学，从而提供一个知识的统一体。他相信他发现了这样一种方法，把一个问题分成若干部分，仅仅相信那些清楚、明确的概念为真实，它们是无可怀疑的，并能系统地从一个结论推演出另一个结论。

笛卡儿很快放弃了军队生活。靠个人收入为生，花了几年时间旅行，将他的分析系统用于数学和自然科学。他发现科学依据的是一些有争议的哲学概念。他决定找出一个可以在其上建立知识体系的、不会被怀疑的第一原理。1629年他退役隐居荷兰，有系统地怀疑关于宇宙和人类的所有公认的传统观念及其证据。他能够不怀疑的论题是"我思，故我在"。由此，他建立了第一原理。

笛卡儿关于方法论和哲学的主要著作是《论方法》（1637）和《沉思录》（1641）。他用代数学方法解决几何问题，见于他的《几何学》（1637）。他还发表了一些关于自然

科学研究的著作。

笛卡儿的工作带给他的既有声誉，也有争议。1649 年他应邀去为瑞典女王讲授哲学。他不适应那里的气候，生了病。1650 年 2 月 11 日在斯德哥尔摩逝世。

费马 FERMAT, Pierre de (1601 - 1665)

法国数学家，17 世纪最重要的数学家之一。他的职业是律师。数学只是他的业余爱好，所以他的成就格外了不起。他独立于同时代的大数学家笛卡儿发现了解析几何的基本原理。他还被认为是微分学的创始人，并且和 B. 帕斯卡一起成为概率论的创立者。

据记载，费马 1601 年 8 月 17 日生于法国的博蒙-德洛马涅。他在奥尔良大学学习法律，并于 1631 年获得法学学位。1638 年他到图卢兹立法机关服务，并参与刑事法庭的事务，从此开始了他的律师生涯。费马对自己的许多数学理论很少加以证明。但他的工作被其他大数学家，比如惠更斯、莱布尼茨、牛顿、欧拉和高斯所接受并作了详尽阐述。他的许多文章 1679 年由他的儿子出版，书名为《数学论文集》。

帕斯卡 PASCAL, Blaise (1623 - 1662)

作为那个时代的杰出人物，帕斯卡对科学、数学和宗教哲学做出了永恒的贡献，他的著作《致外省人书简》和《思想录》都与宗教有关，被认为是散文杰作。

帕斯卡 1623 年 6 月 19 日生于法国中部的克莱蒙费朗。他的父亲是个身居高位的公职人员。1631 年他家迁到巴黎。老帕斯卡承担起了教育儿子的任务。这个孩子显示出是个神童。据说他在 12 岁时自己想出了一个欧几里得几何学的命题。

到 17 岁时，他写了一篇关于圆锥曲线的论文（见：几何学）。这是一篇射影几何方面的开创性著作，它包含一个以他的姓氏命名的圆锥曲线定理。在 1642 年至 1644 年间，为了加快他父亲的计算工作，他制造了最早的数字计算机械。（见：计算器）

1646 年帕斯卡皈依了詹森教派，参与罗马天主教改革运动。当时他认识圣锡兰修道院院长的两个门徒。圣锡兰给巴黎附近的罗亚尔港女隐修院带来了詹森教派的教义：否定自由意志，相信救世之钥是神的恩惠而非人的善行。在科学方面，帕斯卡在几何学、流体动力学、流体静力学和大气压力等学科的研究导致了注射器和水压机的发明。他在两篇论文（在他死后发表）中介绍了他的实验，在论文中他还确立了现在称为帕斯卡定律的那个流体静力学原理。

帕斯卡一向身体虚弱，由于劳累过度而疾病缠身。作为休息，他参加高雅的社交活动、读哲学书，并重新开始研究数学。他为赌博的朋友们计算输赢的可能性，这导致他进行概率论的开拓工作，并且独立发现算术三角形。在一篇关于数幂的论文中，他推演了积分学的一些原理。

1654 年 11 月 23 日夜晚，帕斯卡感受了他所说的一次宗教体验。随后他到罗亚尔港静修。当时，詹森教派和耶稣会之间关于神的恩惠和自由意志的争论，形成了一场危机。耶稣会的一个反对者阿尔诺因撰写论战的文字而在巴黎索邦神学院受审。1656 年 1 月到 1657 年 3 月间，帕斯卡用蒙塔尔泰的笔名写了 18 封信，为阿尔诺辩护。《致外省人书简》以其语言风趣、文体新颖和推理雄辩吸引了公众。

1657 - 1658 年，他为写一部论述基督教的书，做了一些笔记。这些笔记在他死后出版，名为《思想录》。在笔记中帕斯卡认为，推理不过是一个有限的工具，没有能力带来关于上帝、人类和宇宙的终极真理，因此无知的和不道德的人，都必须依靠信念。帕斯卡有关《思想录》的写作由于恶性胃溃疡长期卧病而终止了。他于 1662 年 8 月 19 日在巴黎逝世。

惠更斯 HUYGENS, Christiaan (1629 - 1695)

土星光环的形状是荷兰天文学家、数学家和物理学家惠更斯发现的。惠更斯还发展了光的波动理论。他对动力学和钟摆的应用做出了重要贡献。他在数学方面的声望像他的财富和门第一样出众，使他能够与当时的几位最重要的科学家，包括笛卡儿、帕斯卡和莱布尼茨等通信。他在晚年结识了牛顿，他不同意牛顿的万有引力理论。

惠更斯 1629 年 4 月 14 日生于海牙。他在语言和绘画方面受到父亲的培养。13 岁时他开始学习力学。1645 年他进入莱顿大学学习数学和法律。两年后他转学到布雷达学院。

21 岁时他发表了第一篇数学论文，接着出版了关于概率论的著作。同时，他和他哥哥发现了一种新方法来磨制和抛光天文学家使用的透镜。1655 年他发现了一颗土星卫星。1656 年他辨认出猎户座星云的组成。3 年后他发表了发现土星光环形状的论文。他制造的带擒纵器的摆钟在他观测行星运动时帮助了他。惠更斯自 1666 年起住在巴黎，直到 1681 年回到荷兰。他很早写成的作品《重力起因讲演录》和《论光》在 1690 年出版。1695 年 7 月 8 日他在海牙逝世。

夏特莱 CHÂTELET, Gabrielle-Émilie (1706 - 1749)

法国科学家，她当年因其传奇式的友谊而被爱传闲话的人们所注意。然而今天，她以对其长期密友、作家伏尔泰及当年其他法国知识分子的影响而知名。

她 1706 年 12 月 17 日生于巴黎，原名 G. E. 勒托内列·德·布列特伊。她 19 岁时嫁给 F. 夏特莱侯爵。侯爵从了军，因而很少能同她在一起。1730 年她卷入巴黎社交生活的旋涡，1733 年成为伏尔泰的密友。随后的一年对夏特莱特别重要。她对科学的兴趣被科学家莫佩蒂的数学课激发了起来。而伏尔泰，在侯爵不在时，就住到夏特莱夫人在锡雷的家中。他帮她提高城堡的声望。他俩邀请著名的思想家来访，把城堡办成了一个文学和科学活动的中心。意大利哲学家 F. 阿尔加罗蒂说服了夏特莱宣传牛顿爵士的学说。事实上，她对科学的最重要的贡献正是她对牛顿科学发现的宣传。特别有价值的是牛顿阐述引力理论的

《数学原理》的法文译本。她的译本在她死后的1759年出版。她的其他作品还有一篇关于火的性质的论文(1744)和一本关于物理学的著作(1740),这本著作传播了德国数学家莱布尼茨的学说。夏特莱1749年9月10日在法国吕内维尔死于分娩。

欧拉 EULER, Leonhard (1707－1783)

瑞士数学家、物理学家欧拉,不仅为几何学、微积分学、力学和数论等学科做出了重要贡献,而且发展了解决实测天文学中某些问题的方法。他是纯粹数学的一位奠基人,他也证明了数学在工艺技术和公众事务中的实用性。

欧拉1707年4月15日生于瑞士巴塞尔。1727年应俄国叶卡捷琳娜一世的聘请到圣彼得堡科学院工作。1730年成为物理学教授。由于撰写数不清的论文,欧拉劳累过度,导致1735年一只眼睛失明。1741年,应腓特烈大帝的聘请,欧拉成为柏林科学院院士。在柏林的长达25年的时间里,他接连不断地发表研究成果。当腓特烈变得不那么热情的时候,欧拉于1766年又回到了俄国。回到圣彼得堡不久,他的另一只眼睛又得了白内障。晚年他双目失明。尽管遇到这样那样的不幸,但凭着非凡的记忆力和出色的心算能力,他的著述并没有减少。

人们常常认为18世纪最伟大的数学家是拉格朗日,而不是欧拉。可是在多产或熟练地富有想像力地运用计算方法解题方面从来没有人能胜过欧拉。

班纳克 BANNEKER, Benjamin (1731－1806)

有一个关于数学家、天文学家和发明家班纳克的故事,从中人们可以看到他把记忆力训练到了什么程度。作为1790年华盛顿总统任命的哥伦比亚特区委员会的成员,班纳克与朗方、埃利科特等人一起规划美国新首都华盛顿。在朗方被从这个规划组解职而拿走详细地图后,班纳克竟能够凭记忆重绘出那些地图来。

班纳克1731年11月9日出生在马里兰州的巴尔的摩附近。父亲是黑奴,母亲是自由的黑人。他是作为自由黑人长大的。上学时,他很早就显示出了数学才能。他童年的好奇天性引导他去探究他从一位白人邻居那里借来的书中的广泛多样的问题。

大约在1771年,班纳克开始进行天文学领域的计算工作。对于天文学,班纳克完全是个自学者。他精确预报了1789年的日蚀。两年后,他开始出版《宾夕法尼亚、特拉华、马里兰和弗吉尼亚历书》。这件事他一直做到1802年。他把他的第一本历书送给了当时的国务卿T.杰斐逊并且附了一封信。信中他表达了对奴隶制度的强烈愤慨,称颂黑人具有同等的智力。班纳克1806年卒于马里兰州的巴尔的摩。

拉格朗日 LAGRANGE, Joseph Louis (1736－1813)

他的数学天赋在十几岁的时候就已经显露出来。最后,他成了那个时代最杰出的数学家之一,一个擅长这个学科所有领域的人,尤其擅长分析学、数论、分析力学和天体力学。他的主要著作《分析力学》于1788年出版,是这个领域的经典著作。

拉格朗日1736年1月25日生于意大利都灵市一个富有的法国家庭,后来他家由于倒霉的投机买卖而丧失了原有的财产。他不到20岁时就已经在都灵的炮兵学校讲授数学。到26岁时他已被公认是个杰出的数学家。1776年至1787年他应普鲁士腓特烈大帝之请在柏林任教。腓特烈一死他便回归巴黎。法国大革命期间他曾帮助改进米制。1795年他成为巴黎综合工科学校的教授。他出版的讲稿提供了第一本关于实解析函数的教科书。1813年4月10日拉格朗日在巴黎逝世。

拉普拉斯 LAPLACE, PierreSimon (1749－1827)

他是有史以来最卓越的天文学家之一。这个法国人用数学预言了许多后来用高倍望远镜才看得到的天体。

拉普拉斯1749年3月23日生于诺曼底的一个村庄博蒙昂诺日。他的父亲是个穷人。拉普拉斯几乎没有受过什么早期教育。然而富裕的邻居们解囊相助,送他到卡昂大学读书。在那里他的数学学得非常出色。18岁时他到巴黎,带了一封论述力学原理的信给有影响的数学家J.达朗伯。这封信给达朗伯留下了很深的印象,他帮助这个年轻人谋得了巴黎军事学校数学教员的职位。

1773年拉普拉斯发现了行星平均运动的不变性,建立了太阳系稳定性理论。另一个支持稳定性的重要理论是他在1787年发现的:月球的加速度和地球轨道的偏心率的关系。

拉普拉斯同数学家拉格朗日一起回顾过自牛顿时代以来人们对宇宙中万有引力所做的研究。后来,他写出了《天体力学》,1798年至1827年共出版五卷。有个缩写本介绍他关于太阳系起源的星云假说。拉普拉斯以其研究赢得了许多奖,并获得了侯爵爵位,但他仍然很谦虚。他说,"我们已知的微不足道,我们未知的无穷无尽。"他于1827年3月5日在巴黎逝世。

傅里叶 FOURIER, Joseph (1768－1830)

法国数学家。他以其对热传导的开创性分析最为著名,他也是一个有才干的行政官员和埃及学学者。他的《热的解析理论》1822年出版,指出固体内热的传导可以用一个无穷级数表示。这个级数现在被称为傅里叶级数。

傅里叶1768年3月21日生于法国奥塞尔。他的精深的数学造诣使他1795年成为巴黎高等师范学校的一名教师,后来又任教于综合工科学校。1798年拿破仑远征埃及时,傅里叶和其他一些学者曾随军行动。他对埃及古代文物做了广泛的研究,任拿破仑在开罗的埃及学院秘书3年之久。1801年他回到巴黎后,负责出版他和其他人从埃及搜集来的资料。其结果是一部21卷的著作,题为《埃及情况》,1808－1825,概括拿破仑侵略埃及的科学和文化成果。

傅里叶也曾于 1802－1814 年担任法国政府任命的格勒诺布尔行政长官。正是在格勒诺布尔，他开始进行热传导的研究。1815 年拿破仑下台后，傅里叶被任命为巴黎塞纳的统计局长。他的学术成就使他 1817 年入选科学院，1826 年入选法兰西学院和医学科学院。傅里叶 1830 年 5 月 16 日卒于巴黎。

高斯　GAUSS, Garl Friedrich (1777－1855)　德国科学家。他常被称为近代数学的奠基人。他在天文学和物理学方面的工作差不多与其在数学方面的工作同样重要。他对结晶学、光学、生物统计学和机械学也有许多贡献。

高斯 1777 年 4 月 30 日生于不伦瑞克公国(现属德国)的一个农民家庭。许多轶事提到他的非凡的心算才能。他晚年曾开玩笑地说他在会讲话之前就会计算了。一上小学，他就很快吸引了老师的注意。老师说服高斯的父亲，使他相信应该让儿子把上大学作为学习的目标。1788 年后，在中学，他很快显露出在古代语言和数学方面的才能。

14 岁时，高斯被引见给不伦瑞克公爵。在宫廷里，他表演了计算技能，给公爵留下了深刻的印象，以致公爵直到 1806 年去世，一直给他慷慨的资助。

高斯在 14 至 17 岁之间构想了他几乎全部的主要数学发现。1791 年他开始进行全新的数学领域的工作。1793－1794 年他集中研究数论，特别是素数理论。他为此付出了一生的激情，而被尊为这门学科的近代奠基人。

1795－1798 年高斯在格丁根大学学习。他很快决定撰写一本关于数论的书。这本书 1801 年出版，题为《算术研究》。这部经典著作通常被认为是高斯的最大成就。1796 年 3 月 30 日高斯发现，只用圆规和直尺就可以作圆内接正 17 边形。这是在 2 000 多年的时间里，欧几里得作图法的第一个这类发现。

1799 年 4 月，他的兴趣转向了天文学，这个领域吸引了他往后终生的注意力。他创立了一种根据三次观测快速确定一颗行星轨道要素的方法。他在他的第二部主要著作中详尽阐述了这种方法。这部著作是天文学名著，1809 年出版。1807 年他被任命为格丁根大学天文台台长和数学教授。他任此职直到逝世。

1831 年以后，高斯与 W. 韦伯合作研究电学和磁学。1833 年他们发明了一个电磁发报机。他们激励了许多国家的人们进行磁学观测，并于 1836 年创建了磁学联合会。

高斯精通希腊和罗马古典著作，研究梵语，并且广泛阅读欧洲文学作品。在他晚年，各国科学团体和政府给他的荣誉接踵而至。他 1855 年 2 月 23 日卒于格丁根。

巴贝奇　BABBAGE, Charles (1792－1871)　虽然巴贝奇是一位 19 世纪的数学家，他却被誉为现代计算机的发明人。他还设计过一种速度计和一种排障器(一个突出在火车头前部的斜架。能排开铁路路轨上的障碍物)。

巴贝奇 1792 年 12 月 26 日生于英国德文郡廷茅斯。19 岁时他协助创办了分析学会，以便向英国介绍欧洲大陆的数学进展。大约在同一时期，巴贝奇初次想到用机械来计算数学用表。后来他制造了一台小型计算器，能进行某些 8 位数的数学运算。1816 年他当选为英国最老的科学团体——伦敦皇家学会的会员。随后在 1823 年，他得到政府对他的一台容量 20 位数的计算器设计方案的资助。在研制这台机器的时候，他还担任了剑桥大学的数学教授(1828－1839)。

19 世纪 30 年代中期，巴贝奇发明了分析机(现代电子计算机的前身)的原理，然而政府拒绝给巴贝奇进一步的资助，他的计算器也就没有制成。1855 年一个瑞典公司制成了一台以他的设想为基础的计算器，而计算机则直到电子时代才发展起来。

巴贝奇发表过数学、统计学、物理学和地质学的论文。他还曾帮助建立英国的现代邮政系统。巴贝奇 1871 年 10 月 18 日卒于伦敦。

施泰纳　STEINER, Jakob (1796－1863)　瑞士数学家。他是历史上最伟大的几何学家之一。他是射影几何的奠基人之一。射影几何是处理几何图像与其在平面或线上的投影之间关系的数学分支学科。他也研究代数曲线、代数曲面和极大、极小。(参见：**代数学；微积分学；几何学**)

施泰纳 1796 年 3 月 18 日生于瑞士乌岑斯多夫。童年时，他被迫帮助父母务农和经商。结果，他的早期教育受到严重损害，直到 14 岁才开始学写字。不管怎样，他 18 岁时离家到瑞士伊弗东的佩斯特劳兹学校求学。在那里，他的非凡的几何学洞察力显露了出来。他后来在德国的海德堡和柏林学习。1832 年他获得柯尼斯堡大学的名誉博士学位。两年后，他又获得柏林大学为他特设的几何学教授职位。

施泰纳非常不喜欢运用代数和解析方法。他常常表示这样一种看法：计算会代替思考，而纯粹几何学会激励思考。他的文集《作品集》2 卷本于 1881 年和 1882 年出版。施泰纳 1863 年 4 月 1 日卒于瑞士伯尔尼。

阿贝尔　ABEL, Niels Henrik (1802－1829)　挪威数学家。他做出过一系列卓越贡献，但在他生前并没有完全被承认。使他出名的是他有关积分方程的工作。积分方程是用来计算曲线下面积的数学表达式，它在勘查和工程上有广泛的实际应用。阿贝尔也研究过椭圆函数领域(椭圆是一种有特殊性质的卵形线)。

阿贝尔 1802 年 8 月 5 日生于挪威斯塔万格附近的芬岛，是一个穷牧师的儿子。阿贝尔原是个不引人注目的学生。直到 15 岁那年，他所在的学校聘请了 B. 霍姆伯厄教数学，霍姆伯厄立刻发现了阿贝尔的天资，给了他热情的鼓励。这个孩子很快就超过了他的老师。

阿贝尔的父亲死于 1820 年，几乎没给家里留下什么资产。当第二年阿贝尔进奥斯陆大学时，他是靠几位赏识他的教授资助的。教授们拿出自己的薪水供他日用，还邀请

他到他们家里就餐。在这所大学的4年里，他花了许多时间自学和写数学论文。

1825年在柏林，阿贝尔遇到一位对数学有浓厚兴趣的德国工程师A.克列尔。当时克列尔正着手办一份数学杂志。克列尔发表了多篇阿贝尔的论文。

1826年阿贝尔访问巴黎，没能获得声名显赫的法国数学界的赏识。他准备了一篇长篇论文送交科学院，但负责评阅这部著作的教授们却愚蠢地未予理睬。阿贝尔遭受了挫折，返回柏林，随后回到奥斯陆的家。在那里，他欠了债，既没有工作，也没有指望。一年后，阿贝尔找到一个在大学教书的临时工作。他发现自己正处于同一个年轻的德国数学家K.G.J.雅可比竞争的境地。雅可比也正在研究椭圆方程。有一阵子他们竞相发表研究的成果。

到这时，阿贝尔已在欧洲数学界获得了一定声誉，几次有人试图为他谋求一个合适的名誉教授职位。但他在柏林时已开始衰退的健康在1828年秋天严重恶化了。他抱病做过一次乘敞篷雪橇的圣诞节旅行。他因严重的结核病，于1829年4月6日在挪威弗肖兰逝世。终年26岁。具有讽刺意味的是，柏林一个大学给他的任命这时刚好宣布。1830年阿贝尔和雅可比被授予法国科学院大奖。霍姆伯厄1839年出版了阿贝尔的著作。

布尔 BOOLE, George (1815－1864) 哲学家们为了清楚、准确地推理而研究逻辑学已有许多世纪。英国数学家布尔，在1847年却证明了逻辑学与数学的关系应比与哲学更加密切。他用数学符号代替文字论证逻辑原理，开辟了符号逻辑，一个数学-哲学研究的领域。

在他开创的这个被称为布尔代数的新学科中，所有的对象被分成独立的、分别带有指定特征的类，每一类可用同一特征的有或无这两个术语来描述。例如一个电路，要么是开，要么是关。布尔代数被应用于二进制的计算机电路和电话交换装置的设计之中。那些装置都采用布尔的二值(特性的有或无)系统。(参见：**代数学**)

布尔1815年11月2日生于林肯郡林肯市。他是个商人的儿子，主要靠自学成材。他16岁时开始教书贴补家用。在业余时间阅读数学杂志，不久开始给这些杂志写文章。到29岁时，布尔以自己的成果获得了英国皇家学会的金质奖章。在他1847年出版的小册子《逻辑的数学分析》中，包含了他对符号逻辑原理的最初表述。两年后他被任命为爱尔兰女王学院的教授，虽然他还从未在大学学习过。1864年12月8日他卒于爱尔兰巴林坦普尔。

黎曼 RIEMANN, Bernhard (1826－1866) 黎曼的工作对数学有广泛的影响。另外，他关于几何学的观念对现代理论物理学的发展影响深远，并且为后来相对论的概念和方法提供了基础。

黎曼1826年9月17日生于德国布列斯伦茨。他是一位路德宗牧师六个孩子中的第二个。在当地中学，他在数学方面进步很快，精通了微积分和数论。1846至1851年间，黎曼在格丁根大学和柏林大学学习。在那里，他进行了关于素数论、椭圆函数和几何学的研究。从实验物理学的研究出发，他断定，数学理论能描述磁、光、引力和电之间的联系。他提出了场的理论，按这个理论，可以对围绕电荷的空间作数学描述。

1851年他在格丁根获得博士学位，取得了接任学术职务的资格，1859年，他作为著名数学家高斯(见：**高斯**)的第二代继承人担任终身教授，从而达到其事业的顶峰。最后，黎曼得了病，几次去意大利疗养，1866年7月20日卒于意大利塞拉斯卡。

康托尔 CANTOR, Georg (1845－1918) 德国数学家。他创立了集合论并引进了超限数的概念。这二者都用于研究各类数目大得难以计数的事物，如自然数(1,2,3…)或一条线上的点。在20世纪人们已经看到，数的所有分支都使用了集合的概念。(见：**数学**)

康托尔1845年3月3日生于俄国圣彼得堡。1856年康托尔家迁居德国美因河畔法兰克福。康托尔在15岁之前就显露出了数学天赋。他选择了当数学家的前程，先后在苏黎世、柏林和格丁根的大学里学习和研究。1867年他在柏林获得博士学位。他的老师有著名数学家K.维尔斯特拉斯、E.E.库默尔和L.克罗内克。他曾在柏林的一所女子学校教书，1869年到德国东部的哈雷大学任教。他在那里挣的薪水一直不多，但他从他父亲那里继承了足够的钱，为自己建造了一所舒适的住宅。

从大约1884年到他去世，康托尔被不定期的精神病所苦。熟悉他生活的人暗示说，这病是被研究工作中的困难和那些不愿接受他不寻常成果的数学家(特别是克罗内克)所造成的。康托尔1918年1月6日卒于哈雷精神病研究所。

弗雷格 FREGE, Gottlob (1848－1925) 德国数学家、哲学家，现代数理逻辑的奠基人。他发现了使现代逻辑的整体发展成为可能的基本概念。

弗雷格1848年11月8日生于梅克伦堡-什未林的维斯马。1869年弗雷格进入耶拿大学，在那里学习了两年。他又在格丁根大学两年多时间，学习了数学、物理学、化学和哲学。他终生在耶拿大学执教，讲授过数学所有分支的课程。

1879年弗雷格出版了《概念手稿》一书，首次展示出一个现代意义上的数理逻辑的体系。接下来一个时期，他深入进行逻辑哲学和数学方面的工作，其成果是一部哲学名著《算术基础》(1884)。

然而，1902年著名哲学家B.罗素指出弗雷格逻辑体系中的某些谬误，这实际上标志了他的创作生涯的结束。他在第一次世界大战期间退休，到巴特克莱嫩和梅克伦堡居住，1925年7月26日在那里逝世。他死后很久人们才认识到他的重要价值。

科瓦列夫斯卡娅 KOVALEVSKAYA, Sofya (1850－1891) 俄国数学家、小说家。她

做出的最有价值的贡献是关于数学的微分方程理论。1888年她因一篇物理学论文而被授予法国科学院鲍罗丁奖。论文特别出色，以致奖金加倍。

她1850年1月15日生于莫斯科。她是个炮兵上将的女儿，1868年嫁给年轻的古生物学家（研究化石的科学家）V. 科瓦列夫斯基。他们到德国继续他们的学习和研究。1869年她在海德堡大学随一位德国物理学家学习。因为柏林大学的公开课程不准女子去听，所以此后的1871至1874年间她私下跟一位德国数学家学习。

1874年格丁根大学根据她关于偏微分方程的博士论文授予她博士学位。由于论文出色，没有让她参加口试。1884年她成为斯德哥尔摩大学的讲师。5年后她被任命为高等数学课的教授。

这位数学家还作为自传体作品作家获得很高声誉。她著名的作品之一是小说《韦拉·沃龙佐夫》，在她死后两年出版，描绘了她在俄国的生活。她1891年2月10日卒于斯德哥尔摩。

庞加莱 POINCARÉ, Henri

(1854-1912) 享有盛誉的法国数学家、理论天文学家和科学哲学家，也是一位有才华的作家。他用易为读者理解的语言撰写关于科学和数学的著作。

庞加莱1854年4月29日生于法国南锡。他是第一次世界大战期间成为法国总统的R. 庞加莱的堂兄弟。H. 庞加莱的近视眼没有阻止他在巴黎综合工科学校赢得数学上的最高荣誉。1879年他获得国立高等矿业学校授予的博士学位。他从1881年起直到去世，一直在巴黎大学任教。他在那里所开课程的变化反映了他多种多样的兴趣。许多讲稿成为一系列论文发表出来，讨论诸如光学、电学和理论数学之类的题目。

庞加莱的30多本著作大多被译成外文。其中包括1905年出版的英译本《科学与假说》；以及《科学的价值》(1907)和《科学与方法》(1914)。1908年他当选为法兰西学院院士，表明他作为一个著作家的地位得到了承认。庞加莱1912年7月17日卒于巴黎。

蒂拉克 TILAK, Bal Gangadhar

(1856-1920) M. 甘地称他为“现代印度的缔造者”。蒂拉克是一位数学家和哲学家，但他最为人铭记的是发动反抗英国统治的民族运动，它最终为印度赢得独立。

蒂拉克1856年7月23日生于勒德纳吉里。大学毕业后，在浦那一所私立学校教数学。1884年他在那里创办德干教育社，办社宗旨是教学生英语和向学生灌输自由、民主的思想。他试图通过他的两种周报，《狮报》和《马哈拉塔》，在民众中唤醒政治觉悟。他的政治目标使他与英国殖民当局发生了冲突。1897年他因发动反政府的抗议活动而被逮捕、判刑，并被短期关押。这次活动为印度的独立奠定基础，也使他成了英雄。

1905年他号召抵制英货，并开始了一场消极抵抗英国统治的运动，旨在为独立准备民众条件。对这场运动，他与印度国大党发生了分歧。他再次被捕。1907年他被流放到缅甸。在那里他写下了论说印度教最神圣经典的《薄伽梵歌的秘密》。

1914年从流放地返回，蒂拉克再次投身于政治。他组织“印度自治同盟”，重新加入国大党，并与穆斯林领袖M. A. 真纳签订了勒克瑙条约。这个历史性文件是准备作为在印度的印度教信仰者与穆斯林之间永不发生宗教纠纷的保证书的。随后，他于1918年访问英国。在那里他建立了与工党的紧密联系——工党1947年承认了印度的独立。蒂拉克1920年8月1日在孟买逝世。不幸的是，他的继承者们放弃了他的某些目标。这个国家终于分裂成了巴基斯坦和印度。

怀特海 WHITEHEAD, Alfred North

(1861-1947) 一位20世纪的哲学巨人，也是一位兴趣广涉科学与人类体验的整个领域的思想家。他是一个教育改革者，也是一个渊博的宗教信仰分析者。

怀特海1861年2月15日生于英国肯特郡拉姆斯盖特。早年在家和在多塞特郡的舍伯恩学校受教育。1880年进入剑桥大学三一学院，在那里做学生和教员，一直到1910年。1911年受聘于伦敦大学学院。1914年成为帝国科学技术学院的应用数学教授。1924年面临退休的可能性，怀特海成为美国马萨诸塞州哈佛大学的哲学教授。他76岁时退休，但仍留在哈佛，直到1947年12月30日逝世。

怀特海最早和最持久的兴趣是纯数学。1898年他发表《普通代数论》。他放弃了此书姊妹篇的撰写以致力于哲学史上的重要论著之一《数学原理》(1910-1913)。他的合作者是B. 罗素，怀特海认为罗素是哲学史上最伟大的逻辑学家。1911年怀特海发表了为非专业读者撰写的《数学导论》。

出于对英国教育质量的不满，他1916年提出了一个报告，题为《教育的目标》，这是一个协调普通教育与特殊教育的极有意义的尝试。当时，他正在试图构建物理学的哲学基础。其结果是《关于自然知识原理的探索》(1919)的出版。他在美国期间主要著作有《科学与现代世界》(1925)、《发展中的宗教》(1926)、《过程与实在》(1929)和《观念历险记》(1933)。最后的这部著作对大多数读者来说可能是他的最有趣的一本书。

希尔伯特 HILBERT, David

(1862-1943) 德国数学家。他把欧几里得几何学归纳成一个公理体系。为了强调非限定的数学名词完全抽象化的重要性，他有一次曾说：“一个人必须能够随时提及桌子、椅子和啤酒瓶，而不是点、直线和平面。”他1909年关于积分方程的著作开创了20世纪晚些时候集中研究函数的数学分支泛函分析。

希尔伯特1862年1月23日生于普鲁士的柯尼斯堡（今俄罗斯加里宁格勒）。他1884年在柯尼斯堡大学获得博士学位，1886年至1895年在那里任教授。1895年他到

格丁根大学任教，1930 年退休。

希尔伯特的声誉主要来自他在 1900 年巴黎举行的国际数学家大会上提出的一张 23 个待研究问题的表。他审视了当时的几乎全部数学领域，宣布他认为这些问题值得 20 世纪数学家的重视。这些问题，许多在那以后已经被解决了，而每个问题的解决都是一个引起轰动的事件。

他也研究无限维空间，后来被称为希尔伯特空间。他还对气体动力学理论和辐射理论做出了贡献。1939 年他获得瑞典科学院的米塔-列夫勒奖。希尔伯特 1943 年 2 月 14 日卒于格丁根。

拉马奴金 RAMANUJAN, Srinivasa

(1887－1920) 印度数学家。他对数论做出了意义深远的贡献。他是当选为伦敦皇家学会会员的第一个印度人。逝世时，他作为一个非凡的天才已得到了广大数学家的公认。

拉马奴金 1887 年 12 月 22 日生于印度埃罗德。他 15 岁时开始利用一本旧数学手册进行自学，不久就开始形成他自己的定理和概念。

1911 年他在《印度数学学会会刊》上发表了他的第一篇论文。他的天赋得到赏识，使他后来能够获得马德拉斯大学的特别奖学金和剑桥大学三一学院的助学金。1914 年拉马奴金旅行到英国，英国数学家 G. H. 哈代曾私下指导过他，并与他合作进行过一些研究。他的论文在英国和欧洲的杂志上发表。

拉马奴金的数学知识(多数是他独立得出的)是惊人的。虽然他所作出的成就几乎完全不为人知道，但他对某些数学领域的精通是任何在世的数学家所无法比拟的。然而，他只有构成数学证明的模糊概念。他的一些素数理论的定理虽然堂皇，但却是完全错误的。1917 年拉马奴金得了结核病。他 1919 年回到印度，1920 年 4 月 26 日卒于印度昆巴科南。

维纳 WIENER, Norbert

(1894－1964) 控制论这门学科是美国麻省理工学院(MIT)数学教授维纳创立的。他从 1919 年到 1960 年退休，一直在那里工作。维纳 1894 年 11 月 26 日生于密苏里州哥伦比亚。不久，他家搬到马萨诸塞州。他 18 岁时在哈佛大学获得哲学博士学位。随后他到英国剑桥大学的 B. 罗素和德国格丁根大学的 D. 希尔伯特门下从事研究工作。

维纳在成为麻省理工学院的教员之前，有好几年时间，尝试了许多职业，但却没有一个感到满意的。在麻省理工学院，维纳适逢学院开始发展成一个大型科技学术中心。在这些年里，维纳在数学上作出富有创新精神的研究，得到国际上的公认。

第二次世界大战期间，维纳为美国政府做射击移动目标课题的研究工作。这方面的努力导致了控制论概念的形成。1948 年他的著作《控制论：在动物和机器中的控制和信息传递》出版。这本书广为流传，甚至被普通公众阅读。维纳继续他的研究，常常为演讲和科学合作而旅行。他于 1964 年 3 月 18 日在瑞典斯德哥尔摩逝世。

柯尔莫哥洛夫 KOLMOGOROV, A. N.

(1903－1987) 20 世纪最有影响的苏联数学家。他对概率论和拓扑学领域的独到贡献在现代物理学、化学、生物学和控制论方面产生了深远的影响。他在苏联学制数学课程的调整中也起了重要作用。

柯尔莫哥洛夫 1903 年 4 月 25 日生于俄罗斯的坦波夫。他 1925 年毕业于国立莫斯科大学，并在 1931 年被推选为莫斯科大学教授。1933 年他成为这所大学数学研究所的所长。他的第一篇重要的数学出版物是 1929 年发表的题为《测度的一般理论和概率论》的论文。20 世纪 30 年代他发表了两篇几何学论文：《论几何学的拓扑群公式》和《论射影几何公式》。与这两篇论文同样出色的还有《概率论基础》。在他科学活动的后期，他对信息论产生了兴趣。

哥德尔 GÖDEL, Kurt

(1906－1978) 1931 年数学家、逻辑学家哥德尔发表了所谓哥德尔的算术证明。这个证明指出：在任何严格合乎逻辑的数学体系中，都有一些命题，在这个体系内部的原理的基础之上无法证明或否定其成立。因此，算术的基本原理并不一定不出现矛盾。这个证明已经成了 20 世纪数学的一个标志。而关于它的意义还在争论。

哥德尔 1906 年 4 月 28 日生于今捷克共和国的布尔诺。他在奥地利维也纳大学学习，1930 年获博士学位。而后他留校任教，但 30 年代他还为美国新泽西州的普林斯顿高等研究院服务，因为欧洲战火蔓延，他于 1940 年到了美国，在那里度过他的后半生。从 1953 年到 1976 年，他在那个研究院担任教授。

在他的其他数学活动中，有一项是集合论。他的《选择公理及广义连续统假设同集合论公理的相容性》(1940)已成为现代数学的经典著作。哥德尔 1978 年 1 月 14 日卒于普林斯顿。

物理学 PHYSICS

没有物理学和物理学家的努力，我们的现代生活方式就不存在。明亮、稳定的电灯光消失了，我们将不得不在烛光、油灯光，最好也只是在闪烁的汽灯光下阅读。我们可能有粗制的铁路火车或蒸汽轮船，但不可能有高度发展的巨大功率的机器。我们可能有几层楼高的建筑，但不能期望竖起帝国大厦。我们不可能在哈得孙河上架桥，也不可能建成金门大桥；更不可能制成喷气式飞机，或从纽约打电话到伦敦，或看到电视。个人使用的电子计算机就更不可能想像了。

一切其他自然科学都把它们的知识基础建立在物理学上。物理学占有这个关键性位置，是因为它既和物质与能量的最基本性质也和它们如何相互作用而使物理世界变动不息有关。例如现代物理学已经发现原子由更小的粒子构成，这些粒子又如何将原子联结成分子和质量更大的物质。化学家在他们的工作中利用这个知识引导研究现存的一切

化合物，并制造新的化合物。

生物学家和医学家反复利用物理学和化学研究生命组织，开发新药和新的治疗方法。再则，他们的电设备、显微镜、X射线和其他的多种装置，以及放射性的应用，最初都是由物理学家发明的。

物理学家也已使人们循科学的途径思考。4个多世纪前，在众多的知识领域中，科学方法真正诞生了。早期的印象最深的胜利来自物理学和它在研究太阳、月球、行星及恒星的视运动和真运动中的应用。

伽利略由于发现支配落体和摆的振动的自然界定律，做出了第一个真实的贡献。然后，开普勒建立了说明全部行星运动的三定律。最后，牛顿建立万有引力定律解释了这些成果，这个定律普遍适用于宇宙中的一切物质——小如砂粒或大如太阳。

一个简单定律解释范围浩瀚的现象，这个胜利，使全部知识领域的工作者相信了科学方法。伽利略、开普勒和牛顿也都对望远镜的进展做出了贡献，从而给予天文学一个强有力的观察工具。

物理学和其他自然科学间没有确切的界限，因为一切科学都是交叠的。物理学研究与一切类别的物质有关的共同现象，或者说大量类别的不发生化学变化的物质的现象。

物理学的一个主要分支研究物质——固体、液体、气体——的状态及其运动。伽利略、开普勒和牛顿这些先驱研究了固态物体的运动。这类研究属于力学的称为动力学的一个分支，即对运动中物体的研究。这个大分支不仅包括恒星和网球的运动，也包括陀螺，救火机压水（液体动力学）和空气流经机翼或通过飞机的喷气动力机械（气体动力学）。

力学的另一个大分支是静力学，研究静止的物体。静力学研究力的平衡，即以相宜的阻力使物体保持静止。建筑物和桥梁的设计是静力学问题的实例。

物理学的其他分支基于和物质相互作用的能量的不同类别。它们研究电和磁、热、光和声。这些物理学分支提供了原子如何构造和如何与各类能量相作用的线索。这部分知识常被称为现代物理学基础。在现代物理学的许多分支中有电子学和原子核物理学。

物理学和工程关系密切。一个用物理原理解决日常生活问题的人常被称为工程师。例如电学是一个物理学分支，利用电学规律帮助设计发电机的人就是电机工程师。

用于物理学的科学方法

物理学尝试描述和解释物理世界。因此物理学家努力发现一个或多个定律（定律即是不断运动的自然界的不变动的原则），以解释一大类现象。牛顿的万有引力是一个好例子。另一例子是反射定律——入射角等于反射角。

物理以准确的数学形式表示这些定律，随后能作为量度和计算的基础。例如牛顿的引力定律表述了两个分离的物体间的万有引力（F_G），首先取决于每个物体的质量（m）的大小，其次取决于物体间的距离。两个质量的值必须相乘，而引力则随着距离的二次方而降低。如果距离加倍，引力只有原来的$\frac{1}{4}$。整个定律能用公式表示：$F_G=\frac{Gm_1m_2}{d^2}$，式中G为万有引力常量。

这个公式能够依次解答一大堆问题。牛顿用它帮助解释开普勒定律的由来。现代的航天器或火箭的设计家用它预言当火箭离地球越来越远时，将会发生什么事情。

物理学家随时可能尝试发现定律并用实验证明它们是正确的，在实验中和定律有关的变量都能准确地控制和测量。例如，法拉第测量了电解池中有多少数量的物质被已知的电流量输运，从而得出了电解定律。

密立根使真空室内两块平行的金属板带上相反的电荷，对两板间跳动着的显微油滴进行数千次测量，确定了基本电荷单位即一个电子所带的电荷。

当物理学家不能做直接的实验时，他们常能间接地解决问题。例子之一是物理学家了解太阳和恒星的化学成分的途径。直接测试是不可能的，因为无人有望能从太阳或恒星上取样做化学分析。但在一世纪前，找到了绕过这个困难的一条路。

长时间内，物理学家已经知道炽热物体例如太阳内的物质所发的光能被分解成带色的光带，称为光谱。至于阳光，光谱被多条纤细黑线横割，它们被称为夫琅禾费谱线。1859年，基尔霍夫和本生发现在实验室中使元素炽热，发射的亮谱线将精确地和这些黑谱线符合。

因此谱线精确地显示太阳有什么样的化学元素。利用配有分光镜的望远镜，有可能了解恒星的化学成分。经当代改进后还能显示恒星运动的速率和方向以及它们的温度。（见：**天文学；光谱和分光镜**）

物理学知识是如何发展的

在最早的思想中，尝试用相对很少的自然界定律来解释物理宇宙的物理学家，似乎要以发现物质和能量的基本相互作用为起点。2 000多年前的古希腊哲学家就是这样做的。

这些学者在他们了解简单事实以积累信息之前，就想揭开物理宇宙的最深秘密。例如，他们对电和磁的作用一无所知。他们对光和热的理解是肤浅的而且大部分是错误的。此外，他们不用实验考察他们的观点，自然地，他们连估量物质或能量的性质都不可能。

1 000多年以后，在伽利略时期，人们从相反方向解决这个问题，开始有了一些进展。这些人愿意先解决能用精确方法测试的专门问题，而让更普遍的理论等待着，直到利用已经测试和证实的知识可以拼接成理论。

在伽利略时期后的两个世纪里，有了真正的进步。在19世纪早期，物理学家在一些特殊形式的能量如热和万有引力对物质的相互作用方面，获得了可观的基本知识。尽管如此，每一种相互作用仍是分别研究的。又经过一个多世纪，没有人能够将这些相互作用归集为一个物理宇宙的普遍理论。

从物理学家研究的进程，能够对物理学作出最好的综述。物理学研究的最基本课题是力学，因为它建立了深入一切相互作用的基本量度。量度多种形式的能量如光和电，需要不同的单位，然而，物理学家要使这些单位和力学单位保持协调一致，以便有助于将物理学的全部分支结合成一个知识整体。

力学的古老渊源

原始人利用石器、弓箭和其他机械设备维持他在地球上的地位。没有人知道从什么时候起人们将木棍用做杠杆，也不知道什么时候使用滑轮，但简单机械的物理知识和测量科学发展很早，则是知道的。

约在公元前 2600 年，埃及的大金字塔已经建成，它的四边的边长为 232 米(762 英尺)差别不到 0.254 厘米(1 英寸)；边角与直角只差 12″。这个成就需要高妙的测量设备和使用它的技术。

约在公元前 330 年，亚里士多德完成了他的名著《物理学》，在许多世纪里它拥有崇高的权威。虽然这本书中有多条已被证实的原理，也有一些错误的断言。最著名的可能是较重物体和较轻物体下落相等距离中重者先到。直到 2 000年后，这个原理才被伽利略用实验否定。

叙拉古的阿基米德是另一个大科学家，他生活在公元前。他的最完美的发现之一是浮力原理，这使他能判断希罗王的王冠究竟是否由纯金制成。阿基米德也对杠杆和滑轮的知识作出重要贡献，一次他夸言："给我一个地方把我的杠杆放上，我就能够移动地球。"(参见：**阿基米德**)

伽利略建立现代力学

虽然力学的一系列重要发现是在 18 世纪完成的，打开全新的物理世界大门的却是伽利略。在 19 岁时，他用自己的脉搏测度比萨大教堂的大吊灯的摆动时间，发现摆动永远是等时的，虽然摆动的幅度越来越小。于是他发明了测度时间的单摆。和那时使用的沙钟或水钟相比，这是一大进步。

伽利略研究落体的运动，发现和亚里士多德的断言相悖，在不计及空气的摩擦时，重物和轻物落得一样快。他也研究沿斜面下滚球的加速运动。他的实验奠定了现代力学的基础。(参见：**力学**)

更早的学者如 R. 培根已经坚持求知之路应建在细心的观察和实验上，而不仅仅取决于表面现象。伽利略所以称为实验或科学方法之父，因为他发明使人信服的批判性实验，虽然其结果与更早的权威相抵触。(见：**伽利略**)

牛顿的不朽贡献

在伽利略逝世之年 (1642)，历史上最伟大的科学家之一，牛顿在英格兰诞生。他对落体和太阳系的研究，引导出他的著名的万有引力定律(见：**万有引力**)。他不仅发现多个力学基本定律，包括运动的基本定律，也创造了处理力学问题的专门的数学。因此他成为微积分的开创者之一。另一人是 G. W. 莱布尼兹。(参见：**微积分；力学，牛顿**)

牛顿提供了用数学公式表示自然界定律的稳固基础。他首先选定称为原点的参考点，用三条相互垂直的轴通过原点，物体在空间中的位置就用对这三条轴的距离来表示。这种表示方法是笛卡儿创造的，称为笛卡儿坐标法。牛顿的第二个工作原理是物体保持静止或做匀速运动 (等速率的直线运动)，除非一些影响使运动变化。牛顿称这个影响为力，他还提供了量度力的方法。

牛顿力学和相对论性力学

以上述原理为基础的科学推理被称为牛顿力学、牛顿观点，到了 20 世纪则称为经典力学。在牛顿时期后的两世纪内，牛顿的方法对科学中已知的一切运动和力学效应都证明适用。

在 18 世纪中，力学经 L. 欧拉、伯努利和 J. L. 拉格朗日等人的努力，已发展成为一门很完整且成熟的科学。在 19 世纪发展了陀螺理论，热的动力论也用与牛顿力学相一致的观点完成了。(见：**热**)

然而，19 世纪后期 A. A. 迈克耳孙和 E. W. 莫雷在光学实验中的结果与一切已知的理论相矛盾。物理学家在这个问题上奋斗多年之后，爱因斯坦于 1905 年提供了一个答案，即他的第一个 (或"狭义的") 相对论。他说对于速度接近光速的物体，对牛顿力学的某些相对论性改正将是必需的。

他的观点在每一个能进行考测的事例中都证明是正确的。至今，无论何时只要有需要都作相对论性改正(见：**相对论**)。这些改正和其他的 20 世纪进展一起，特别有助于完成新的原子理论。

旧的和新的热概念

物理学家现在多少把热和机械运动联系起来了。在现代动力学中认为存在于物质中的热只是"分子的运动"。这是经过几个世纪的以错误概念进行工作后才建立的理论。

古代人认为热是个元素。恩培多克勒主张万物之根是 4 个元素——火 (热)、气、水和土。因此，热只能被分析为流出或流入物质的一些东西。直到 18 世纪末，甚至像拉瓦锡那样的杰出科学家仍认为热是这类东西，他称之为热质。

然而实验一直否定这个观点。热物和冷物相比，有"热质"的流入和流出，但却是等重的。最后，一批物理学家断言运动会转变为热 (如当子弹射入木块时)，他们建立了热不是元素或物质的观点，宁可认为它是由组成物质的看不见的粒子的运动产生的，现称这些粒子为分子。许多实验证明这个观点是对的，从而建立了热的动力论，即热是和分子运动有联系的能量。(参见：**热**)

这个理论圆满地证明物质含有热。同时，物理学家建立了通过真空空间的辐射热 (红外辐射) 理论，认为它是"以太波"的一个类型。这类波由像太阳那样热物体发射出来，当它们射到 (如地球上的) 物质时，就激励物质中的分子，加速他们的运动。这就"加热"了物体。

普朗克的热的量子理论

依照上述理论，在有关物体的"最热"和"最冷"的水平间，发射和吸收的热可能为任意量。然而在 1900 年，普朗克强使这个观点改变。普朗克用新观点解释了黑体辐射、所谓黑体是指无数个具有小孔的空腔，它吸收从小孔射入的辐射后在腔内几经反射，几乎不可能从小孔中射出，这个小孔也就像吸收了全部射入能量的全黑的物体。当空腔受热时，小孔就像炽热的铁那样辐射能量。当铁逐步加热时，它首先辐射热，然后是暗淡的红光，最后成为白热——即辐

射光谱中的任意波长，包括热辐射和紫外辐射。

热能无限可分的观点导致辐射能随不同波长的某种分布。但根据能量无限可分的理论推导出来的分布，其短波端与实验完全不符，普朗克用能量并非无限可分来解释，即辐射能像粒子而不像波动那样传递，存在某种最小的不可能再分的粒子。普朗克称这些最小的粒子为量子。

由于普朗克的观点无可置疑地正确，物理学家采纳了量子理论。同一类的不可再分的单元迅即在光学和电学中发现；如今，量子理论和相对论并列为现代物理学的基石之一。普朗克观点的惟一变动是稍后的理论说量子的传播和波动相联系，这将在本条下文中说明。（参见：**能量**；**物质**）

声学，声音的科学

人们所以能知道关于这个世界的许多事，是通过看和听的。古代人自然地关心光和声音。两者中，声毕竟易于理解得多，有关声的知识早就开始发展了。

研究声音的物理学称为声学。人们出于爱好音乐，去制造乐器，从而知道发声的物体都在振动，即往复运动。快振动产生高音调，较慢振动发出较低音调。公元前 6 世纪毕达哥拉斯研究了弦乐器的一些定律，是声学的建立者。在 A. 凯撒的统治时期维特鲁威写下了声音是以同心圆的波动形式传播，就像石块落在静水中所激起的波。声波由不断扩大的浓集的球面——空气分子密集的区域组成，而被较稀薄的球面分离，那里的分子距离较平时为大。

17 世纪早期，法国神父梅森曾测量声音传播的速率。他发现声音每秒钟前进 335 米（1 100 英尺）。很响的声音传播得稍快些。几年后，牛顿依据他的力学原理从空气的弹性推导出预言声速的理论。（参见：声音）

光的本质的解释

古代人熟悉许多光学现象，例如影子、虹和用灯火取光。他们知道光的反射和光从水到空气时的弯折（折射）。制成并利用反射镜。

1608 年，H. 利珀西可能制成第一架望远镜，此后不久，伽利略制成望远镜，并用它发现木星的 4 个卫星、金星的盈亏、太阳的黑点和太阳的自转。差不多同时，显微镜开始应用。用上了这些光学仪器，天文学和生命科学就大步前进了。

约在 17 世纪中叶，两位大物理学家牛顿和惠更斯都完成了光学实验。两人得到很不相同的结论。牛顿把白光分解为彩色光谱，制成反射望远镜，而且当透镜紧贴玻璃平片时观察到彩色环（称牛顿环）。牛顿采纳光是微小粒子流的理论。他对于光从空气入水时的弯折的解释，是因为微粒受水吸引并被下拉进入水中，当它们进入水中，光速应增加。

惠更斯建立光的波动理论，用它解释许多光现象，例如透过方解石结晶观察任一物体，都有两个像。依照惠更斯理论，光从空气入水时的弯折是因为光波在水中传播得比在空气中慢。

微粒和波动理论争执了 100 多年。最后，一些实验支持了波动理论。当两束光在某一点上叠加时，它们可相加产生亮点，也可相消而产生暗点。这一现象称为干涉。1800 年后不久，T. 杨和 A. 菲涅耳完成了许多演示光的干涉的实验。他们的结果支持波动理论。约在 1850 年 D. F. 阿拉戈、J. B. L. 傅科和 A. H. L. 菲佐证明光在空气中传播得比水中快，这是波动理论的大胜利，并且说服了物理学家，波动理论是惟一正确的理论。

然而在 1900 年，已了解清楚光有时显示出粒子性质，虽然这些性质有别于牛顿描述的粒子性。现在知道有时光的表现像波，有时像粒子。物理学家必须回答这个问题："光是波动或是粒子现象？"答案是："它既是波动，又是粒子。"

解答电之谜

甚至在了解光的粒子性之前，物理学家已经显示光是原子内的电活动的结果；为了理解光的性能，掌握电的知识是必要的。

闪电、电鳗、磁石和经过摩擦的琥珀吸引细小的草末在公元前很久已为人知晓。然而，电学的发展却远比经典物理学的任一其他分支为慢。

在 17 和 18 世纪中，这个一向忽视的学科被许多人注意了。人们知道了用丝或毛皮摩擦很多物质都能使它带电。这些实验似乎显示可能存在两种电（称为电荷）。同种电互相排斥，异种电互相吸引。这现象之所以能够出现，或是确实存在两种电荷；或只存在一种电荷，有的超额，有的不足——即以正（＋）量或负（－）量表示。电荷超额的将流向（被吸引）电荷不足的。后一观点为人们所支持。

在这个时期，实验受到下列事实的阻碍，即当相反电荷间的通路一旦形成，它们几乎立即结合。尔后在 1800 年，A. 伏打宣称发明了电池，它将产生较稳定的直流电。这个发明促使电学研究进入空前发展时期。H. 戴维、H. C. 奥斯特和 M. 法拉第利用这个新电源发现一系列事实，如电流有能力使溶质分解（电解），电流能产生磁现象，磁的变化也能产生电流。

电磁波谱和无线电

电荷和电流、磁性都能穿越空间起作用。1873 年 J. C. 麦克斯韦发表他的电磁作用以光速在空间传播的理论。除波长不同外，它和光波是一样的。1888 年 H. 赫兹检测到电磁波。G. 马可尼利用这个发现开发了无线电。

热辐射和其他辐射都和麦克斯韦理论符合一致。它们结合成为电磁波谱（见：**能量**）。这证明了一切辐射能量以波动传播。然而，赫兹的另一方面研究（也有他人参加）复兴了微粒理论。

电的本质和原子

在赫兹的实验中，他发现光照到金属上，会逐出负电荷来（这个现象称为光电效应）。进一步的实验提出这电荷可能由粒子组成。在真空放电的现象中也发现存在粒子的证据。1896 年，A. H. 贝克勒尔发现铀的放射性。不久，M. 居里和 P. 居里发现放射性钋和镭（见：**居里一家**）。对放射性的研究展示了称为 α、β、γ 的三种射线。发现 α 射线是带

正电的粒子，β射线是带负电的粒子，γ射线是电磁脉冲，它所带的能量大于1895年伦琴发现的X射线。（见：**辐射；X射线**）

其他实验证明存在电子，而且它们是构成原子的粒子之一。β射线被证实为电子。1900年，已弄清原子是由比原子更小的带电粒子组成。

自由电子带负电荷也清楚了；而电流是由导体内电子运动形成。因此电荷和原子紧密相连，而且两者都具有粒子性质。

物理学在20世纪

普朗克的量子热理论加固了粒子学说；1905年，爱因斯坦利用光由称为光子的粒子组成的理论解释了光电效应。一个光子撞击金属，能逐出一个电子（负电荷）。

1909年起，R. A. 密立根测量一个电子的电荷，在几千次的实验中没有发现小于电子的电荷。1911年，E. 卢瑟福发现原子有一个很重的带正电的核心，称原子核，它被带负电的电子所围绕。1913年，N. 玻尔解释氢原子的一个电子如何吸收能量并发射氢光谱的谱线，把光和原子结构结合起来了。（在稍晚的理论中紫外辐射和X射线也能一样地结合。）1923年，A. H. 康普顿证明如把X射线视为粒子，就能解释X射线在靶上的散射。

粒子和波动理论

粒子理论几乎横扫了物理领域。然而它仍不能解释光的衍射现象；1927年，C. J. 戴维孙和L. H. 革末发现电子束能够被晶体衍射。好像粒子和波动理论两者必须都正确。问题是寻找如何两者都能正确。1927年，数学物理学家M. 波恩、W. 海森伯、L. 德布罗意、E. 薛定谔、P. A. M. 狄拉克和P. 约旦为达到这个目的，建立了协调一致的物理定律体系，称为量子力学（参见：**狄拉克**）。量子力学是普朗克的量子理论的衍生物（见：**量子力学**）。德布罗意建议粒子除粒子性质外还有波动性质；海森伯认为同时而且准确地测定粒子的位置和速度是不可能的（见：**海森伯**）。薛定谔建立了描述支配相关粒子的运动的波动方程。依据这个方程，粒子最可能出现在波的幅度最大或振动最强的地方（见：**薛定谔**）。薛定谔的波动方程已成为量子力学的基本方程。这个理论不解释波动图像如何发生和为什么它能指示粒子的运动，而是以数学词汇简单地断言所发生的事。（参见：**物质条目中的“近代的物质理论”**）

物理学的专业分支

以最大尺度研究物体的物理学分支称天体物理学。它是天文学的一个分支，它主要研究宇宙物体的物理性质和结构。（参见：**天文学**）

以大多数人更熟悉的尺度研究物质的物理学分支是固体物理学，它探索固体的内部结构及其性质。在20世纪里，固体物理学在开发晶体管、发光二极管和光电管等设备中获得成功。

另一个研究大量物质的物理学分支是等离子体物理学。等离子体是在恒星中发现的物质状态，而且能够加热到足够产生热核反应的程度。（见：**等离子体和等离子体物理学**）

低温学研究物质在很低温度下的行为。在如此低的温度下许多物质的性质大大改变了，例如某些金属和陶瓷化合物没有电阻了，成为超导体。（见：**低温学**）

多个其他物理学分支也以人类常用的尺度来研究物质现象。生物物理学研究引起或影响生物学过程的物理学定律。声学研究声的行为，光学研究光的行为（见：**声学；光学**）。力学包含对力和物体运动的广泛研究（见：**力学**）。热力学研究热、功、能量和温度的关系（见：**热**）。物理学家也研究电磁性。（见：**电；磁体和磁学**）

这些物理学分支中有不少是不关心物质的细微结构的，然而也有不少物理学分支是研究细微结构层次的。例如量子论和相对论为研究亚原子层次的结构和物质及能量的表现提供了理论模式。

分子物理学研究一些原子结构如何影响它们之间的键合。原子物理学研究原子本身的结构和行为。这些研究有助于对原子核能级的了解。

原子核物理学家研究原子核的结构，核子间的特殊的力（称为弱和强相互作用）和不稳固的原子核发出的射线（见：**原子核物理学；放射性**）。他们也研究称为核裂变和核聚变的原子核反应，在核裂变中核分裂为较小的碎片；在核聚变中，核熔合为较大的原子核。在这些反应中释放出来的能量已经用于核电站和核武器中。（见：**核能**）

粒子物理学或高能物理学和原子核物理学联系密切。它研究构成物质的最基本粒子。高能粒子加速器用来产生这些基本粒子（见：**核能**）。宇宙线也是基本粒子的来源。

粒子物理学是当代物理学的前沿。在最近的半个世纪里，发现了数量惊人的各类粒子，人们相信它们是由更基本的粒子构成的。如今，物理学家正尝试找到一个统一的原理，将全部基本粒子及其相互作用联系起来（见：**原子粒子**）。许多粒子物理学家正在寻求在物质的一切层次都正确的守恒定律。经典物理学的守恒定律已经被新的似乎不变的物理量的集合所取代，而传统的基本力已用被称为场粒子的量的交换来阐释。许多物理学家相信，使用称为规范理论的一种量子场论，能达到最终的统一。最终的成功可能需要从根本上革新空间和时间本身的流行观点。

部分当代主要物理学家

一些杰出的物理学家并未收入本表内，因为他们在本词目的主要释文或《康普顿百科全书》的其他词目中已作了介绍。

贝特　Bethe, Hans Albrecht (1906－　)　德裔美国人。促进经典物理学转变为量子物理学形式。以恒星能源的研究获1967年诺贝尔奖。

玻恩　Born, Max (1882－1970)　德国人。因对亚原子粒子行为的统计性表述与博特共获1954年诺贝尔奖。协助建立量子理论。引入玻恩近似，以解决有关原子粒子的散射问题。

博特　Bothe, Walther (1891－1957)　德国人。因发明检测亚原子粒子的新方法和由此获得的新发现，与玻

恩共获 1954 年诺贝尔奖。在确立电磁辐射的粒子性和发现中子上有重大贡献。

钱德拉塞卡 Chandrasekhar, Subrahmanyan (1910 -) 印度裔美国人。因白矮星的演化理论分得 1983 年诺贝尔奖。计算出钱德拉塞卡极限，有助于对超新星、中子星和黑洞的最终理解。

考克饶夫 Cockcroft, Sir John Douglas (1897 - 1967) 英国人。因首先用粒子加速器研究原子核与瓦尔顿合得 1951 年诺贝尔奖。

费因曼 Feynman, Richard Phillips (1918 - 1988) 美国人，因改正早期量子电动力学表述中的错误而分得 1965 年诺贝尔奖。引入费因曼图，描述表达相互作用的粒子体系所需的复杂数学式。

格拉泽 Glaser, Donald A. (1926 -) 美国人。因发明和改进用来观察亚原子粒子行为的气泡室而获 1960 年诺贝尔奖。

霍夫斯塔特 Hofstadter Robert (1915 - 1990) 美国人。因发现质子和中子的结构与穆斯堡尔合得 1961 年诺贝尔奖。

米勒 Müller, Karl Alexander (1927 -) 瑞士人。以陶瓷化合物的高温超导记录分得 1987 年诺贝尔奖。

里希德 Richter, Burton (1931 -) 美国人。因发现称为 J 粒子的亚原子粒子，从而开辟了一个新的研究领域，与丁肇中合得 1976 年诺贝尔奖。

鲁斯卡 Ruska, Ernst (1906 - 1988) 德国人。因发明电子显微镜而分得 1986 年诺贝尔奖。

萨拉姆 Salam Abdus (1926 -) 巴基斯坦人。因建立电弱理论将电磁和弱相互作用统一为一个基本相互作用即电弱力，而分得 1979 年诺贝尔奖。他也提出统一强、弱和电磁力的理论。

塞格雷 Segrè, Emilio (1905 - 1989) 意裔美国人。因发现反质子和张伯伦合得 1959 年诺贝尔奖。发现第一个自然界不存在而由人工制成的元素锝和砹、钚-239（现用于核反应堆和核武器）。

瓦尔顿 Walton, Ernest T. S. (1903 -) 爱尔兰人。因创建第一个核粒子加速器而与考克饶夫合得 1951 年诺贝尔奖。曾尝试两种粒子加速方法，后改进并用于电子回旋加速器及直线加速器。

温伯格 Weinberg, Steven (1933 -) 美国人，为统一电磁和弱相互作用，研究并建立了温伯格-萨拉姆理论，与萨拉姆、格拉肖合得 1979 年诺贝尔奖。

维格纳 Wigner, Eugene Paul (1902 -) 匈牙利裔美国人。由于他对原子核物理学的许多贡献，包括量子力学和原子核结构的研究，和 M. G 迈尔与 J. H. D. 延森合得 1963 年诺贝尔奖。

撰文：John N. Cooper

原子核物理学 NUCLEAR PHYSICS

万物是由极小的称为原子的单元和称为分子的原子群体构成的。分子的种类多得使人眼花缭乱。在每个原子的中心有一个小核称为原子核，它被电子云包围。电子是在原子较外区域内不断运动的带电粒子。原子核物理学是研究核的性质以及它们和核的基本组分及自然定律间的关系的一门科学。原子核物理学的许多应用——产生电动力，治疗癌或其他疾病，制造核武器，其他等等，已经在人类历史进程中产生重大影响。本条将概述原子核物理学的一些基本概念。

原子核的发现

原子的半径约为 $\frac{1}{10^{10}}$ 米。1911 年，英国物理学家卢瑟福令人瞩目地发现在原子的中心藏着一个只有原子 $\frac{1}{10^5}$ 的核。他用 α 粒子（现在知道它就是氦原子的核）轰击一片金箔，他注意到偶然有一个 α 粒子从金箔反弹回来。如果金原子只是由很轻的电子构成，远比电子重的 α 粒子不会弹回。这个反复出现的事实导致以下结论——在原子的中心有一个小而很重的核即原子核。更晚些时候，实验物理学家相继从原子核中敲出物质碎块之后，才揭露了它们的结构。

1919 年，卢瑟福用 α 粒子轰击氮核时，观察到氮核发射一种新粒子。它是构成原子核的基本单元，带有正电荷，电荷的数量和电子所具有的负电荷的数量相等。这个新粒子称为质子。并发现原子核中的质子数目和核外的电子数目相同。

1932 年，卢瑟福的同事查德威克发现原子核的另一个组分——中子。与质子不同，中子不带电荷，而且能穿过几厘米厚的物质而不被电力所弯折。原子核中质子数（Z）和中子数（N）之和等于原子的质量数（A），即 A＝N＋Z。质子和中子的质量几乎相等，约为 1.7×10^{-24} 克，任一个粒子的质量大致是电子的 2 000 倍。一些元素的原子有相同的质子数 Z 和不同的中子数 N。这些不同的核素称为同位素。例如氢的同位素重氢（氘）含有一个质子和一个中子，正常的氢只有一个质子而没有中子。因为任一元素的同位素有相同数目的质子和核外电子，他们的化学性质十分近似。

经测定的原子核的质量略小于组成这个核的质子和中子的质量，这个质量差被认为是结合能。如果只考虑核子（质子和中子）间的电作用力，不可能解释这个质量差。因为带有相同电荷的粒子间的电力是斥力，它们将使质子分离。必须存在把核子结合在一起的一种吸引力。原子核远比整个原子小，说明这个称为强相互作用的吸引力只有很短的作用范围——不大于原子核本身。

不同核素的原子核的大小和形状是不一样的，但观察到的密度差不多都相同（每立方费米有 $\frac{1}{6}$ 个核子，1 费米等于 10^{-15} 米）。因此原子核的体积（V）和质量数（A）成正比。一些原子核呈球形，像篮球；另外一些像烙饼或橄榄球，称为变形核。这些不同形状和我们熟悉的水滴相似。对原子核的最早描述之一，是在 1936 年由丹麦物理学家玻尔引入的，称为液滴模型，利用了上述的相似性。

量子性

构成原子核的核子都具有自旋，它们很像旋转的陀螺。

单个核子的自旋加在一起就成了核的总自旋。在日常生活的世界中，陀螺几乎可以任意速率自旋、或快或慢。在范围极小的原子核世界中，要遵循新规律——量子力学规律。规律之一是类如自旋的核子性质是量子化的，它们只能取某些分立的（特殊的）数值。核子的自旋必须是 $\frac{1}{2}$ 个原子单位。熟悉的轨道概念例如地球绕太阳的轨道，在量子力学中也更微妙了。在原子核内、每个核子的轨道跟它的自旋一样，也是量子化的：其角动量即核子的速度和它的轨道半径的乘积可用一些整数值（例如 0、1、2）来表征。此外，在量子力学术语中，原子核的能量不能为任意值，只可能是某些分立的能级。原子核的一系列可容许的能级称为它的能谱，最低的能量状态称为基态。如果原子核正在转动或振动，被称为处于受激态。

放射性

原子核通过发射粒子宣示它们的性质。这个核衰变过程称为放射性。甚至在卢瑟福实验之前，德国物理学家伦琴于 1895 年和法国物理学家贝可勒尔于 1896 年已经观察到神秘的“X 射线”，它为原子核的存在给出最早的强线索。现在知道这些 X 射线是电磁辐射的小能包（量子），是由原子核发射的、有如电灯泡发射常见光那样，只是有高得多的能量。稍后，法国物理学家居里研究多种天然物质的放射性。许多核的衰变不仅发射 γ 射线，也发射 β 粒子（电子或它们的带正电的伙伴即正电子）或 α 粒子（由两个质子和两个中子组成的粒子）或分裂成两大部分（核裂变）。β 衰变过程是由弱相互作用引起的，即一个中子转变为一个质子、一个电子和中微子，后者不带电荷但带走了能量。α 衰变是由强相互作用引起的，它和结合核子的作用是同一个作用。α 粒子犹如鼹鼠那样从其他核子形成的势垒中挖洞而出。在自发裂变中，原子核经过一些椭球体和钟状体阶段之后，分裂成近乎球状的新核。衰变过程的发生率确定核的寿命，它的范围从不到 1 秒到几十亿年。

核壳层模型

要了解原子核的能级图自旋、磁性和衰变模式时，就得在经典的振动液滴模型之外去寻找了。德国物理学家迈尔和延森于 1950 年前后首先建立了核壳层模型，一种核的量子理论，后经丹麦物理学家玻尔和莫特森于 20 世纪 50 年代的早期统一并扩展。在这个模型中，核子处于具有不同自旋和轨道角动量的轨道中。当原子核增加新的核子时，这些新成员必须相继地比已在核中的核子具有更高的角动量，因此它们的轨道将扩展到离原子核中心更远的范围。

壳层模型正确地解释了当质子数 Z 和中子数 N 为幻数时（相当于核子满充壳层）原子核就特别稳定。壳层模型还提供了从不同轨道上的核子的个别自旋得出原子核的自旋的规则。原子核也可从受激态跃迁到基态，并发射一个电磁辐射量子——即一个光子。壳层模型使预言光子能量及其发射概率成为可能。

更深地理解壳层模型何以能取得上述结果，牵涉到强相互作用——自然界的基本力之一。正如熟悉的带电粒子间的电磁相互作用是由于光子的交换（像见到光似的），结合原子核的强相互作用是由于核子间的介子的交换。这个强相互作用力约是电力的百倍以上。强力的媒介粒子有自旋为零的 π 介子（最轻的介子）和较重的“矢量介子”、后者是自旋为 1 的玻色子。

π 介子的质量约是电子的 270 倍，强力的作用范围约为 1 费米。在这个亚微观距离内，介子交换力确实很强，把核子约束在几个费米的紧密的小范围中。

为了理解力的范围的概念，一个比拟是有用的。一个轻的橡皮球（光子）比一个较重的钢球（介子）能被掷得更远。日本物理学家汤川秀树首先建议介子的交换传递了强核力。从此，介子交换理论成功地解释了两个自由核子的碰撞，也解释了核子群即原子核的性质。

夸克理论

在当代的强相互作用的物理描述中，质子、中子和介子并非基本组元，而是由称为夸克的粒子组成。美国物理学家盖耳-曼为了将已发现的粒子按性质相近归类，于 1964 年引入夸克理论。这个进展给当时流行的想像中的基本粒子“动物园”带来了秩序。在夸克模型中，质子和中子由三个夸克组成，而介子则是一对夸克和反夸克。在这更深的物质结构层次中，核子间的介子交换被夸克间的胶子交换所取代。胶子相当于夸克间传递强力的“光子”。为了以夸克-胶子概念更好地理解原子核结构，人们作了很多努力。

当代的研究

原子核的放射性衰变提供了原子核结构的信息快照。然而要获得更多的深入的信息，有赖于从粒子加速器出射的粒子流对原子核的刺激。粒子加速器是用电力加速粒子的设备。电子、π 介子、质子、α 粒子和带电的原子核等等的粒子流都被用来产生核反应。碰撞过程的最简单的类型是弹性散射，碰撞后的靶核仍停留在基态。弹性碰撞特别是电子的弹性碰撞提供了原子核的大小和形状的详细信息。非弹性散射通常使原子核处于受激态，借此，实验者能够研究原子核的转动和振动。

电荷交换反应——例如在反应过程中质子转变为中子——可探测质子和中子相互作用的对称性。转移反应——质子、中子或一群核子倒入原子核内（或被逐出）的反应——显示了在什么样的范围内原子核状态能够作为单个粒子（或粒子群）绕原子核中心转动。介子散射过程，对于原子核内介子交换力的存在和质子、中子间的介子密度的差异，反应灵敏。重离子（原子中的大部分电子被剥离）常用来产生远离稳定性最高的范围的原子核；K 介子（具有奇异性的介子）流使实验物理学家创造出超核，在超核中质子或中子由超子（奇异核子）取代。

在未来，将研究更高能量的原子核碰撞，目的在于产生新粒子和其他的新现象，例如密度很高的核物质的非常态。这类观察将使物理学家有可能揭露自然界的一些神秘性和掩藏得很深的秘密。（参见：原子粒子，核能）

撰文：Carl B. Dover

等离子体和等离子体物理学 PLASMA AND PLASMA PHYSICS

当将气体加热到几千度以上时，原子间的剧烈碰撞足够将电子敲离，产生带正电的离子和带负电的自由电子。气体被称为离化，而当相当多的原子被离化时，气体就被称为等离子体。

对气体使用其他形式的能量，也能形成等离子体：例如用紫外线或 X 射线辐照，或用高速电子或其他粒子轰击。由于自由电子有和离子重新结合形成中性气体分子的倾向，只有不断地提供能量，等离子体才能保住。

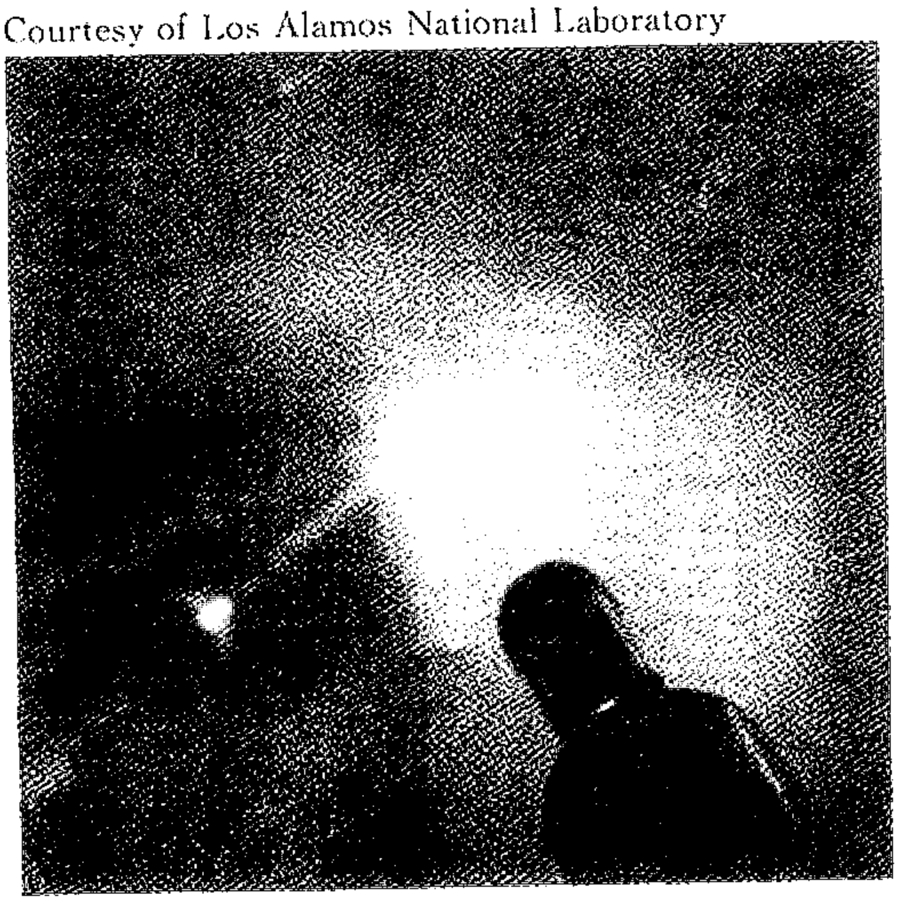
科学家作出估计，99% 以上的宇宙物质处于等离子态。等离子体存在于恒星内部及周围，太阳也如此，并普及星际空间。

性质 等离子体时常被称为物质的第四态，因为它有显著的通常固体、液体和气体不具备的性质（见：**物质**）。例如由于自由电子极易流动，等离子体是热和电的极良导体。

等离子体对它本身和对电磁场的相互作用遵循同一途径。自由电子的运动驱动了等离子体内的电流。磁场经常和等离子体相联系，并和这些电流相作用。在小尺度上，磁场使各个离子和电子绕磁场做圆运动。如果等离子体很热，电子的圆运动可以使它们发出射电波（见：**辐射**）。等离子体的区域性扰动引起复杂的振动，这些振动将以波的形式在等离子体内传播。

在大尺度上，磁场和等离子体一起运动，这被称为"冻结"。磁场的压强和沿着磁力线的张力作用于等离子体，使它循复杂的途径运动。

Courtesy of Los Alamos National Laboratory



等离子体是带负电的电子和带正电的原子核的混合物。图中是氟化氪激光打击靶后产生的等离子体。

相反地，等离子体的湍动，可以搅乱磁场，因此将磁场拉伸并缠结回绕在它自己身上，并将磁通量压成越来越薄的带。这个作用一直继续到个别带消失，或一直到磁场有足够强度抵制这个运动，在磁场和等离子体之间产生一个复杂的动力平衡。

围绕一颗转动中的恒星或星系，等离子体的运流运动系统地弯折磁场，使它成为圈状，使磁场看上去围绕着恒星或星系。太阳的磁场和太阳内部及太阳周围的等离子体间的相互作用，引发了颇为壮观的黑子、日珥、耀斑等现象。（参见：**太阳**）

等离子体物理学 在实验室内产生等离子体，要用刚性的金属或陶瓷容器，内充稀薄气体，然后施加高电压（100 到 10 万伏）。为了产生强磁场，一般都在容器上绕以线圈并通过电流。使气体全部电离，气体温度要达到或超过 100 万摄氏度。可用离子、电子或微波轰击作补充的加热方法。

强电流通过等离子体柱时，就产生环绕柱体的磁场。在称为箍缩的现象中，环绕磁力线的张力对等离子体柱施压。此外，磁场的压强使等离子体柱弯折，引起了腊肠型不稳定性和扭曲不稳定性。为了抵消这些效应，外部载流线圈的磁场用来稳定并约束等离子体柱。

等离子体物理学家希望利用合适的磁场位形将等离子体约束在磁场内，而离开容器的冷壁，使等离子体温度升高到足以产生核聚变（见：**核能**）。这事如果成功，科学家相信，总有一天等离子体可能在世界的核动力中占主要地位。然而经过实践，这个目标仍捉摸不定，因为等离子体有扭坏约束磁场的惊人能力。不论使用了多种革新接近的方法，包括奇特的磁场位形和更快的产生并加热等离子体的方法，问题仍未解决。（参见：**物理学**）

固体物理学 SOLID STATE PHYSICS

计算机、航天器、彩色电视设备、电话、人造卫星和助听器的许多最新成就都要归功于固体物理学，一门年轻的科学。固体物理学家研究固体的内部结构。他们尝试了解固体内部的原子和分子的表现如何给固体以外观的各种性质。这些研究已经导致新的和意外的物理性质的发现。

现代形式的固体物理学通常认为起始于第二次世界大战结束前后。1948 年，以半导体固体的物理性质的理论为基础发展了晶体管，并公诸于世。在收音机、计算机和多种科学设备中，晶体管取代了体积远比它大的真空管。

有了类似晶体管的半导体设备，才有可能构成微电子线路。这些线路应用广泛——从市场很有限的极昂贵的计算机到大量生产的廉价消费品如收音机、电视机和电话机。

1960 年，制成了第一个激光器，它是以红宝石如何吸收并发射光波的理论为基础的。此后，激光被射往月亮并返回，已经用于精细的眼科手术和指引"两英里长"直线加速器的建造。（参见：**激光器和微波激射器**）

固体理论的应用

许多世纪以来，人们通过尝试和错误才知道如何利用固体。人类的最初的制造陶器和冶炼金属的技术就是这样得来的。例如，在人类发展初期，发现给某些土——金属矿——加热，能使其中的金属分离出来。

然后也知道了金属的混合物可以具备它们的金属成分未具备的符合需要的性质。但没有人知道什么样的内部变化引起这些改进，也没有方法预见，什么样的特殊混合物具有或不具有所寻找的性质。人类依赖偶然的发现。

现在，情况十分不同了。对新的固体元件，理论预言往往领先，指明它们将有所需要的各种性质。例如，科学家应用固体理论控制铁氧体的磁学性质（见：**磁体和磁学**）。因为铁氧体不是导电体，它们用于电视管和雷达天线的移相器中。在外磁场的作用下，铁氧体的磁场取向容易快速变动。这说明了它们为什么能用做计算机中的“记忆”储存单元。

许多固体用途是从固体的缺陷理论开发的。合金（金属的混合物）可以比任一金属组分更强，如果其中一种金属的原子充实了称为边缘位置的另一种金属晶体结构的微观空隙。但是，合金中的一种金属的原子常常不起黏结作用，更像润滑剂，因此这类合金就比它的任何一种金属组分更弱。

晶体管和太阳电池的功能取决于掺入半导体内的杂质原子。当杂质原子增加了超额电子，形成了电子型半导体区；当杂质原子提供了电子的空位，空穴型半导体就形成了。三个电子和空穴区系列交替的半导体元体，能够易于导电。（见：**晶体**）

磷光体——受辐射激发后能发出可见光的固体——也同样取决于存在的杂质。磷光体用来产生彩色电视图像。如果开发出一种发射更合乎需要的颜色的磷光体，就能改进图像的质量。一些杂质俘获和光发射过程有关的电子，延缓了磷光体的作用。但是，其他杂质似乎是光发射所必需的。（参见：**颜色**）

固体物理学中的概念

1912 年劳厄确定晶体有序地衍射 X 射线。X 射线照片的有规则的循环出现图像，显示晶体是原子或分子的有序排列。特殊的图像常有助于解释给定晶体的性质。例如金属有一类晶体排列在低温下脆化；而另一种排列的金属保持了强度。

晶体学家分析晶体图像，而原子和量子力学理论家尝试确定什么力引起这些图像。原子理论假设原子有一个位于中心的带正电的原子核，核外环绕着带负电的电子。晶体已被划分为离子的、共价的、金属的或分子的晶体，这取决于原子的这些最外层电子的相互作用。

量子力学是描述能量和物质的关系的一条途径。所以选择这个原理，是因为它很成功地阐明了难以解释的原子其他方面的现象。它在物理学中给出的预言是最明确的，经得住最严格的检验，其中一些预言经测试，发现准确到 $\frac{1}{10^9}$。因此，量子力学用做金属、半导体和绝缘体的导电性的数学阐释。在这类运算中，下述三个能带概念是重要的。

满带含有被原子所吸引的全部电子。当电子进入导带，它们就完全脱离了原子的吸引，而有利于产生电流。在导带和满带之间有一个能量下降的区域，称为禁带。经量子力学计算，预言晶体中其他原子将具有禁带能量的电子反射回来，因此阻止它们参与电的流动。

在金属内，即使在很低温度下，一些电子都有足够能量占据部分空的导带（换言之，它们离开原子成为自由电子）。在绝缘体中，原子全部充满满带（电子被原子吸住了），没有剩下电子可以进入导带。再则，导带、满带间的能距很大——需要 5－7 电子伏能量——电子难以获得足够能量跳入空导带。在半导体中，满带也全充满了，没有电子剩下。但满带和空的导带的间距很小——约 0.5 电子伏——所以输入很小能量如常温下的热能，就能够将一些电子送入导带。

金属所以能传导电流，因为它的导带上总是有电子。它的电导率随着温度的升高而降低，因为能量增大的原子阻碍电子的运动。半导体只在外部能源如电流或热介入时，才允许电流通过。所以它的电导率随着温度增加。最后，绝缘体例如橡皮板，通常不导电。但在很强的电场作用下——例如闪电打击物体——给一些电子提供足够能量跃过宽禁带，进入导带。处于这类情况，绝缘体也将导电了。

撰文：Robert A. Levy

物质 MATTER

一个电子，一粒砂子，一只大象和可望及的宇宙边缘处的一个巨大的类星体，都有其共性——它们都是由物质组成的。落石的运动和炸药柱的爆炸，也都有其共性——都显示了能量。能量和物质一起，形成了物理世界。（参见：**能量**）

何谓物质？多年前，科学家们将物质颇简单地定义为：空间中任何有质量之物。然而，对后来的新的科学发展而言，以上的定义便不足了。我们应先考察一下物质的一些共性，这对讨论物质的新概念是有帮助的。

物质的状态

简称物态。人们日常见到的物质，不外乎是下列三态或三态之一：固态、液态或气态。固体不管其位置如何，有一定的大小与形状。例如铅笔，在桌面上运动或直立在玻璃板上，其形状与大小都不变。而液体则与固体不一样，其形状由盛放它的容器的形状确定；即使这样，它和固体一样，也有一定的大小或体积。把 1 升水从一杯中倒入一碗中后，其形状起了变化，但其体积保持不变。气体则因膨胀，而充满整个容器。

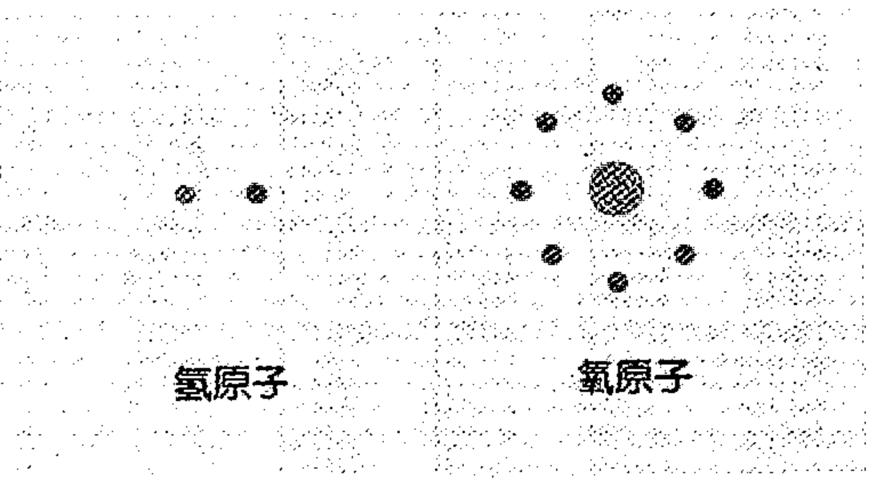
在一定的温度与压强下，物质有一定的态——为固态、液态或气态。但若温度或压强起了变化，状态就可能会变。例如，在一定大气压下的水，其状态随温度而变。冰是固态的水。若把冰从电冰箱中取出而加入一热锅中，它就因受热而化为液体——水。再若用热火烧此锅，则水便受热而化为气态之水——水蒸气。

大多数物质均以三态中的任一态存在（只要不化学分解，例如糖在空气中加热）。氧则要冷到极低的温度，才能变为液体或固体（见：**低温学**）。石英则要热到极高的温度后，才能变为液体或气体。

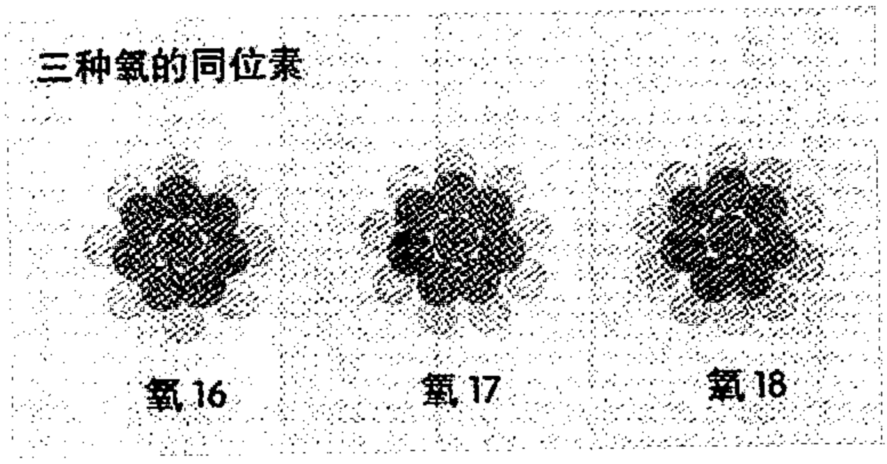
在大多数人的经验中，压强的广泛变化不如日常温度剧烈变化那样的普遍。因此，压强对物态的影响并不常见。

这往往要用高压器和真空（低压）器，来研究压强对物态的效应。在很低的压强下，物质一般都趋于气态。而在很高压强下，气体则趋于液化，而由液体再趋于固化。事实上，在人力所能及的超低温下，氦除非在 25 个大气压的压强下，方能成为固体。

在物态变化（简称相变）时，压强与温度间的关系，最为高原上的居民所熟悉。在高原处的气压低于海平面处，因此，水的沸点温度较海平面处为低。在高山顶上做饭，要比在海平面上费时间。



在一氢原子中，一电子绕一孤独质子作圆周运动。一氧原子中，则有 8 个质子可约束住 8 个电子。



上图中表示出了三种氧同位素。每种原子核中都有 8 个质子（深色）和分别有 8 个、9 个或 10 个中子（浅色）。

物质三态的这些性质是很常见的。但要对此做出解释，则得用上一种理论，这理论是用来描述肉眼看不见的过小微粒的行为的。

物质的原子理论

根据现代原子理论，一切物质都由称为原子的极小单元所组成。每个原子中有一重而带正电的核——原子核，其周围则有 1 个或多个带负电的电子，绕其运动。

原子核本身可含有两种粒子：不带电的中子和带正电的质子。电中性原子中的电子数与质子数相等，因此两者间的正负电荷，恰好互相抵消。

确定一个原子与其原子序数，取决于其原子核中的质子数目。例如，氢原子的原子核中只有 1 个质子，所以氢的原子序数为 1。氧原子核中有 8 个质子而原子序数为 8；汞的原子序数为 80；而铀的原子序数为 92。

只含有一种原子的物质则称为元素。通常认为地球上只存在 92 种天然元素。最轻的元素是氢，最重的是铀。

给定元素中每个原子核中的质子数都相同，但中子数可能会不同。例如，天然氧中 99.8%的氧原子核中有 8 个中子与 8 个质子。但少数氧核却有 9 个甚至 10 个中子。这种不同的核就是氧的不同的同位素。不同的同位素的核，有不同的中子数。

大多数的氢原子，都由 1 个质子与其一外围电子所组成。可是，在氢的一种同位素中，其核中尚包含 1 个中子。这种同位素称为氘（重氢）。因为中子与质子之质量几乎相等，所以氘原子的质量约为普通氢原子的 2 倍。有一种极罕见的氢同位素称之为氚（超重氢），它的原子核中有 1 个质子和 2 个中子。这种结构是不稳定的，从而使氚核具有放射性。氚核放出一带负电的粒子（电子），而其核变为一有 2 个质子和 1 个中子的稳定氦核。

其他许多元素的同位素是具有放射性的。它们发出不同的辐射，而变为该元素的同位素或他种元素。不少的放射性同位素是人工同位素，是由核反应堆和加速器产生的。（见：**放射性**）

除 92 种天然元素外，科学家们还合成了 1 打以上在自然界并不存在的其他元素。这些元素称为超铀元素，因为它们都是由质量比铀原子更大的原子所组成的元素。因此，它们的原子序数都超过 92。现已合成到了原子序数为 107 的一些超铀元素，尽管它们的寿命有不少还不到 1 秒钟。苏联科学家们曾宣称：有原子序数超过 110 的迹象，但未被确认。英国科学家们则相信他们已观察到序数为 112 的元素。如确实，则这种新元素的原子，便会是已经观察到的最重的原子核。

包含有 1 种以上的原子的物质，则不是化合物便是混合物。化合物中之原子，经化学连接而形成分子。这些分子是靠电力吸住的；这电力则是由一个原子中的 1 个或多个电子，与另一原子的原子核间的相互作用。

例如，2 个氢原子与 1 个氧原子分享电子而形成 1 个水分子。这种结合（见：**化学**），用水的化学式 H_2O 表示。

混合物中的原子或分子掺和一起，但不进行化学结合。盐与水的混合物（盐水）是一种溶液。其中盐离子（带电的分子团）散布于水中。（见：**溶液**）

无论固态、液态还是气态的水，其分子都是由 1 个氧原子与 2 个氢原子所组成。三种物态的水的区别，根本就与水的化学性无关。实际上，物态上的差别是取决于以下两种能量的大小：分子间吸引力引起的结合能和瓦解分子与分子结合的热能。

原子理论与物态

所有分子之间，都存在一定程度上的吸引力。若排斥力弱于分子之间之吸引力，诸分子便牢附在一起。不过，由于具有热能而使分子不停地运动。当物质的温度增高时，分子运动就愈加剧烈。而当温度降低时，分子运动就会减弱。

在固体中，分子间的吸引力胜过分子的具有瓦解性的热能。因而使分子被刚性且有序的排列结合在一起，称为晶体。有不少物理学家认为，如玻璃、冷冻奶油和一些塑料等无定形物质，不是真正的固体，而是属于一些极稠的液

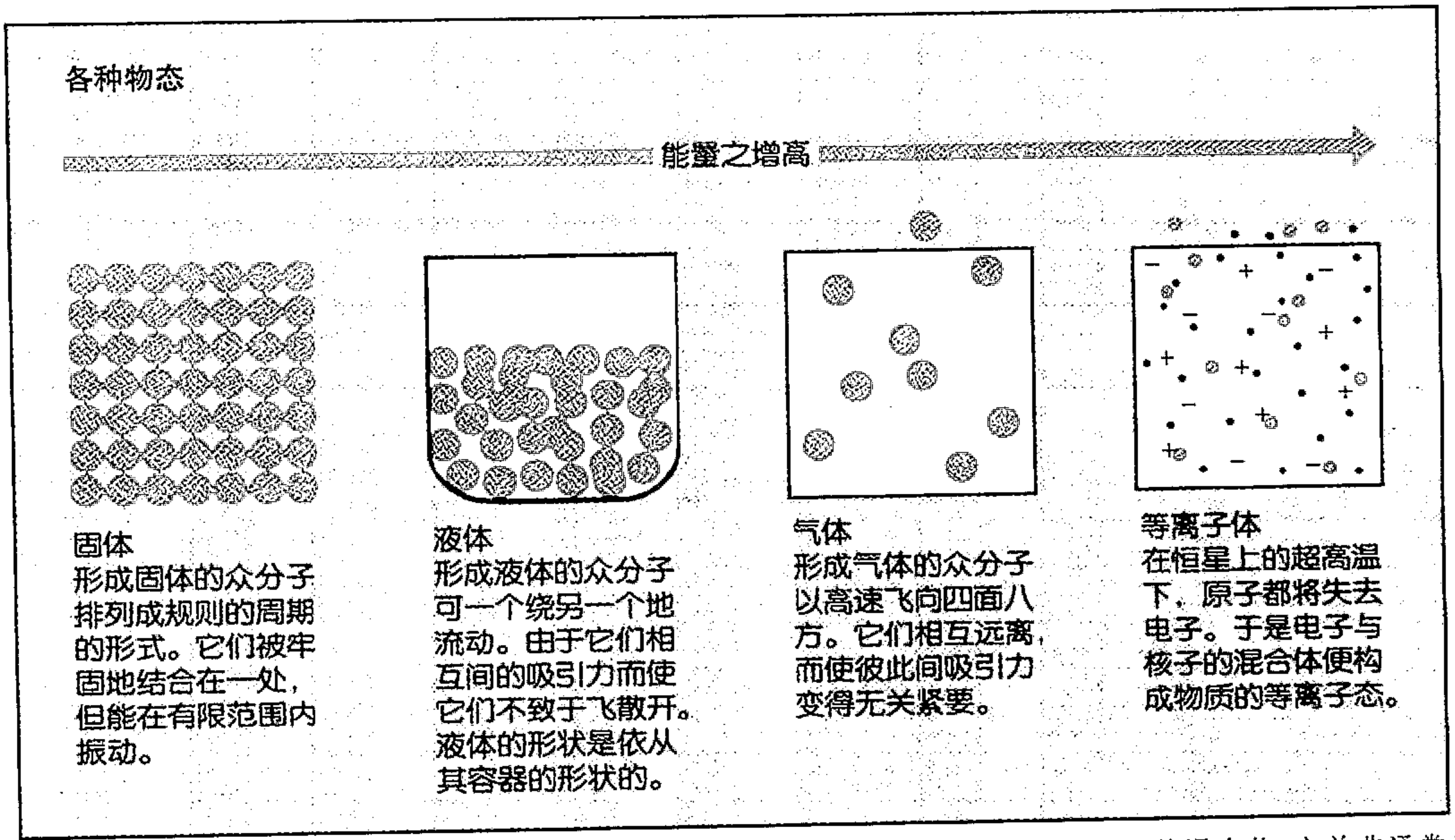
体。

尽管晶体中的分子都牢实地处在一定地点上，但由于热能而使它们仍在振动。我们或许对冰具有热能这点难以想像，但就是冰中的水分子，虽固定在其晶格上，仍围绕一平衡位置振动。这振动表示冰具有热能。

当固体温度不断上升，则其分子振动能便愈来愈高，直高到足以胜过分子间的吸引力。于是它们便从晶体中的固定位置上松散下来，而做不同程度的自由运动。这时该物质就随同其容器的形状，但仍保持不变的体积。换言之，该物质已熔化成一液体了。

熔化是一种物态变化或相变。开始熔化时的温度即熔点，是随物质的种类而异的，但在定压（强）下，某给定物质的熔点总是一样的（在 1 大气压下，水的熔点总是 0°C）。不把非晶体作为晶体的理由之一便是：它们并无确定的熔点。当温度不断上升时，它们就变得愈来愈易于流动。

相变也可反向进行。若液体的温度逐渐降低，最后便会达到一点，使其分子力足以胜过其瓦解性的热运动而使众分子固结在一起。这样就形成了晶体：该物质冻结了。发生液态到固态的相变的这个温度，就是该物质的凝固点。物质的凝固点与其熔点相同。



还可用物质分子理论来说明从液态到气态的相变，这过程称为蒸发。对液体加热时，有的分子得到了足够的热动能，克服液体表面上分子间的引力——表面张力。这些高动能的分子，脱离了液体。因此，这些分子就处于气态了。当继续不断对液体加热时，就会有更多的分子获得足够的能量，而从液体中逃离。一直到达某一温度，叫做该液体的沸点，这时液体中所有的分子，都会得到足以逃离液体的能量。

气态中分子间的平均距离要比分子本身的大小大得多，所以气体中的分子力很弱。这就是气体之所以充满整个容器的缘故。由于分子力弱，使气体分子除了相互碰撞和与容器壁相碰时外，都在做自由运动。我们观察到的气体之压强，就是由气体的众多分子碰器壁的结果。

有时一物质会从固态直接变为气态，而不经过液态。这种过程称做升华。干冰（固态的二氧化碳）在大气压下会升华。而气态二氧化碳则要在 5 大气压以上，才能液化。

物质的第四态

在超高温下的原子间的碰撞，足以把电子全部撞离了原子核。结果形成了正负粒子的混合物，它并非通常意义下的气体。这种状态的物质，称为等离子体。有些科学家认为等离子态是物质的第四态。其实，就我们所知，宇宙中的物质大约有 99% 是处于等离子态的。恒星中物质的足够的热和星际间物质的足够稀离，这都使电子完全脱离了原子核。从天文学上看，倒是地球上存在着一些反常情况，使等离子体难于产生。

宇宙中，还会有处于以上的四个态之外的物质。死亡恒星所处的致密的坍缩状态，便是地球上无法产生的。又如白矮星只有地球大小，而其质量却相当于整个太阳。脉冲星则被认为是作高速旋转的中子星。中子星将大小如太阳的质量，压缩到直径为 32 公里的球体。最极端的情况下：物质密集到如此程度，以致其万有引力将一切物质与辐射，都吸聚在一临界距离以内。由于无光线能从这样的坍缩星中向外射出，因此称为黑洞。这种不发射物质和辐射而吞食掉入它的一切物质的星体，是难于设法用实验来发现的。迄今为止，黑洞尚未被观察到。

万有引力和惯性

研究物质的另一全然不同的方法，基于惯性和引力概

念。物质可用具有惯性和在引力场中受到吸引力来定义。

惯性

牛顿第一运动定律叙述了惯性概念。原来静止之物有保持静止的趋势;运动物体则有保持其速率而作直线运动的趋势。要想使静物开始运动或使一运动物体停下来,则要费些事,即要用到力。物体保持其静止或运动的趋势,就称为惯性。

物体的惯性与其质量有关。质量大的物体比质量小的惯性要大。一物体的质量可通过观察施于其上的力所产生的加速度来度量。牛顿第二运动定律表示:质量 m 等于力(F)除以其产生之加速度(a),即 $m=\frac{F}{a}$。

原则上,这种测量可在宇宙中任何处实现。无论在何处做实验,对同一物体施以同样大小的力,总得同样大小的加速度。因此,物体的质量是到处一样的。

万有引力

任何物质对其他物质,都施以万有引力。万有引力弱于另外的三种力——电磁力、原子核中之结合力(强作用力)和所谓的弱作用力。例如,小磁铁对钢针的磁力,抵得上整个地球对该针的万有引力。可是,就地球上的常见物体或天体尺度而言,在这四种力中,万有引力却是起支配作用的力。地球表面上,物体从高处向低处落,就是万有引力最常见的例子。但地球绕日旋转、太阳系绕着银河系中心旋转,以及宇宙的几何结构本身,同样是由万有引力形成的。

一物体的重量,是由其所受的万有引力所确定的。地球表面上的物体受到一指向地心的曳引力。如果把物体拿到距地心更远处(例如在一高山顶上),则作用其上的引力便减弱,而使物体重量减轻。如果物体在地面上较低处(例如在一深山谷中),则受到的引力增加,而使其重量增加。若将物体拿到一巨行星,比如木星上,则其重量会大大增加。一物体的重量是可变的,它随所在处的引力场的强度而变。

要紧的是要了解质量与重量的区别。一物体的质量是到处一样的,而其重量则与引力场的强度有关。在月球上,一宇航员的重量比在地球上要轻,但他在这两处的质量是一样的。

但质量与重量之间,有一定的关系。重量与质量成正比。在空间任一指定处,物体的质量愈大,也就愈重。

重力影响重量而不影响质量

动物种类	(地球上)重量	(月球上)重量	(火星上)重量	(木星上)重量	质量不变(千克)
蓝鲸	77110(千克力)	12337.6(千克力)	29301.9(千克力)	195497(千克力)	77110.3
象	4989.5(千克力)	798.318(千克力)	1896.01(千克力)	12650.6(千克力)	4989.45
马	544.30(千克力)	87.0893(千克力)	206.837(千克力)	1379.82(千克力)	544.308
人	68.039(千克力)	10.8862(千克力)	25.8546(千克力)	172.364(千克力)	68.0385
猫	4.5359(千克力)	0.72574(千克力)	1.72364(千克力)	11.5212(千克力)	4.5359
鼠	28.380(克力)	4.536(克力)	10.773(克力)	72.009(克力)	0.02835

近代的物质理论

在相对论中,将物质与能量看做是等价的,因而大大开拓了科学家对物质的理解。相对论中说:有能量者则必有质量(反之亦然),两者在量上是相关的。A. 爱因斯坦给出两者间的准确关系式为 $E=mc^2$。在方程中,E 为物体的相对论性总能量,m 为相对论性的质量,而 c 则为真空中的光速(3×10^8 米/秒)。相对论性质量,与普通的质量一样,都为引力场所吸引。

科学家们过去惯于把物质和能量,看做是宇宙间根本上不同的两个量。但在相对论中,却将两者合而为一了。这表明在相对论中:物体的质量随其速率或动能而变。物体在高速运动时,其相对论性质量要比低速时大。物体的最小质量就是它在静止时的质量。这最小质量便称为该物体的静质量。

即使在日常中看来是很高的速率——如喷气飞机的速率——质量超出静质量的部分,小得无法观测出来。可是在高能粒子加速器中,当被加速粒子的速率近于光速时,就可观察到质量的明显增加。

辐射能的质量

和一切辐射一样,光也是能量的一种形式。在 20 世纪之初,只认识到光属电磁波,但到了 1905 年,爱因斯坦指出:光的行为常像由粒子而非由波所组成。例如,在光电效应中,光的行为就像是一连串打到金属电子上的光粒子(见:光)。这样的电磁辐射粒子,便称为光子。

根据相对论,由于光具有能量,因而也就具有质量。相对论中的光子质量可由爱因斯坦公式求出。这个质量非常之小,对可见光的光子约为 10^{-33} 克。但因其有质量,所以就会对引力场有所反应。事实上,爱因斯坦相对论的强有力的证据之一就是:通过观察发现,自一恒星发出经过太阳边缘而到达地球的光,较不经过太阳附近而直达时有所偏离。相信这是会发生的,因为光量子的质量受太阳的强大引力场的吸引,足以使它弯曲。由于这种效应很微弱,所以要有如太阳这样巨大质量的物体存在,才能观察到。

这一发展中提出了一个大难题,因这样看来,就表示光的行为好像是一些经典的粒子。然而,我们早就知道光是会产生衍射与干涉图样的,这完全是波动的特征。那么,光到底是波还是粒子呢?

根据近代物理学，这两者都行。波的波动性和光的粒子性是互补的。对了解光而言，两者都是必需的。可是，光的粒子性和光的波动性这两个方面是不能同时测得的。至于观察到的到底属两者中的哪一方面，则取决于研究的特定对象。衍射就是光为波行为的一例，而光电效应则是光为粒子行为的一例。

一可见光的光子的相对论质量——本例中为绿光——可从下列两方程求出。

方程 1：$E=hf$　　E= 光子的能量
　　　　　　　　h= 普朗克常数
　　　　　　　　f= 波之频率

$h=6.63\times10^{-34}$（焦耳·秒）（焦耳为米制中的能量单位）

$f=6.0\times10^{14}$赫（对绿光：1 赫=1 周/秒）

解：$E=(6.63\times10^{-34}$ 焦耳·秒$)\times(6.0\times10^{14}$ 赫$)$
　　$=39.8\times10^{-20}$ 焦耳，或 2.49 电子伏

方程 2：$E=mc^2$　　m= 光子之质量
　或　$m=\frac{E}{c^2}$　　E = 光子之能量
　　　　　　　　c= 光速

$E=39.8\times10^{-20}$ 焦耳

$c=3\times10^{8}$ 米/秒

解：$m=\frac{39.8\times10^{-20}\text{ 焦耳}}{(3\times10^{8}\text{ 米/秒})^2}$
　　$=4.4\times10^{-36}$ 千克或 4.4×10^{-33} 克

物质的波动性

1923 年，发现波动呈现粒子性后约 20 年，L. 德布罗意提出反过来也成立的假设，就是：一向视做粒子的，也会显出其波动性。4 年之后，就发现真正的"物质波"。

将一束电子直射到晶体上，观察其偏折和散射的图样。从实验图样结果来看，这好像是由波的偏转所造成的，因而支持了电子有类似光行为的理论。而在另外的实验中，也观察到电子的衍射图样。

用电子波的电子显微镜有很大优点。因为电子波的波长远比可见光甚至紫外光的波长为短，故电子显微镜比光学显微镜的分辨本领要高得多。因此，电子显微镜比光学显微镜能显现出多得多的细节来。

质能等价性

多世纪以来的实验，导致科学家们深信：宇宙中物质总量是不变的。他们将这一概念表达为质量守恒定律：物质既不能产生，也不能消灭。而与此相似的，则有能量守恒定律，它表示：能量既不能产生，也不能消灭。爱因斯坦之相对论则提出能量可能转化为物质及反之亦然，因而指出上两守恒定律有误，但这是不易为人接受的。实验的观察结果，证实了爱因斯坦的观点。

单个质子与中子的质量，常以原子质量单位（amu）来表示。1 amu 的质量是 C_{12}（碳的一种同位素）原子质量的 $\frac{1}{12}$。1 自由质子的质量为 1.007277 amu。1 自由中子的质量则稍大些，为 1.008665 amu。当 2 个质子与 2 个中子合成一氦原子核时，也许有人认为氦核的质量将等于 2 个质子和 2 个中子质量之总和，即 4.0319 amu。但从实验证明，氦核的质量为 4.0017 amu，即比以上之和小了 0.0302 amu。科学家便由此推知：失掉的 0.0302 amu 质量，转换为能量。

氦核的能量比其各组成粒子的能量和要小。能量的差值，系用来稳定氦核的，因而称之为结合能。必须用正好与形成氦核时释出的相等的能量，才能将氦核分裂，这是用来克服其结合能的。科学家们懂得：如何对质量和能量进行数值间的换算。因此，1 amu 等于 931 MeV（百万电子伏特），或 1.49×10^{-3} 尔格。（参见：**能量**）

当形成原子或分子以及核反应时，有物质要转化为能量。例如，当 1 质子与 1 电子形成 1 氢原子时，氢原子之质量将比氢核（或单独 1 质子）加上 1 单独电子之质量要小。不过，在这种情况下，损失之质量仅为 2.4×10^{-32} 克，或 1.5×10^{-8} amu，小得无法测量。因此，在化学反应之中是观察不到物质损失的。

通过多方实验，使科学家们深信：质量与能量是等价且可相互转换的。因此，质量守恒定律与能量守恒定律结合而成单独的一个定律——质能守恒定律。此定律表明：宇宙中，质量与能量之和是守恒的，而质量与能量间的转换，为方程 $E=mc^2$ 所支配。

构成物质的砖石

所有物质都是由一些基本粒子构成的。原子并非基本粒子，因它们自身是由更小的粒子——电子、质子和中子所组成。有些粒子，像光子，通常是在原子之外而单独存在的。

当科学家们发展了对放射性粒子的研究方法，如分裂原子和探测来自外部空间的粒子（宇宙线）等后，他们断言：除光子、电子、质子和中子外，还存在其他的基本粒子。在 20 世纪 30 年代中，W. 泡利和 E. 费米就提出了有很轻的中性粒子——中微子的存在，它同物质的作用要比光子弱得多。他们认为，仅仅有这个粒子存在，才能解释核衰变中，中子变为 1 自由质子和 1 自由电子（β 衰变）时损失掉的能量和动量。泡利和费米提出的这种粒子，非常难探测出。但 1956 年所进行的一些实验，肯定了这种粒子的存在。

20 世纪下半叶，宇宙中已有 1 打以上的基本粒子——其中有些则被认为是其他粒子的激发态——被探测到。这些粒子是轻子、玻色子和由夸克组成的介子及重子。6 种轻子中包括电子、μ 子和 τ 介子。质子和中子是由夸克构成的（见：**夸克**）。玻色子或矢性介子，则包含视之为光的光子、引力子和胶子。

引力子是尚未被发现而在理论上存在的粒子。如果存在，则引力子携带万有引力，正如光子带电磁力和胶子带强核力一样。（参见：**原子粒子**）

反物质

1928 年，P. A. M. 狄拉克提出：可能会有质量与电子相同而带同量正电的粒子存在。4 年之后，深测出一种带

正电的电子或正电子。这是存在反物质的首次实验证据。

现在粒子物理学家认为：自然界中每种基本粒子都有相应的反粒子存在，即使其中有些尚未被察到。与粒子相应的反粒子，可能要在该正粒子发现多年后，才被发现。若一正粒子带电，则其反粒子带大小相同但符号相反的电。

当电子与正电子相遇时，证实了物质的一个重要的性质。两者都湮没了。由质-能守恒定律可知：若质量消灭了则必有等值的能量产生，而使湮没前后的质-能之和正好相等。

实际发生的情况确实如此，因为一正负电子对湮没时，总要放出辐射。通常会出现 2 个到 3 个光子，其总能量等于这对正负粒子质量之总和。其他的正反粒子相遇时，亦会发生类似的湮没。

与以上正负粒子湮没相反的过程为粒子偶之形成，辐射消失而产生了物质。最常见的例子便是：用光子来产生一对电子与正电子。发生的必要条件是：光量子的能量至少应等于这对正负电子的总质量。再者，起始的光子必须在靠近较大质量的粒子（如原子核）处，这样才能使能量和动量全守恒。如起始光子的能量足够大，也可用此法产生比电子重的粒子偶。

包括地球在内的银河系，主要是由粒子而非反粒子组成的。显然，它不能由等数量的粒子与反粒子组成，否则就会有突然剧烈的湮没发生，使星系中的物质转变为辐射。宇宙其他的星云系中，或许有主要是由反粒子所组成的。但迄今为止，还未找到存在的直接证据。有的天体物理学家主张：我们观察到的遥远星系的爆炸，也许就是物质与反物质大规模的相互湮没造成的。

超弦理论

为探寻万有引力的量子性，不少的理论物理学家已转向超弦理论，这是一种复杂的数学理论。这理论首先在 20 世纪 70 年代为人所考虑到，是作为描述质子、中子和 π 介子的性质的一种方法而提出的。后为夸克理论所取代。然而，超弦理论，或包罗万象的最终理论（Theory of Everything，简作 TOE），在 20 世纪 80 年代中，又开始复活了。TOE 是基于我们是生活在 10 维的宇宙中为论点——其中有 9 维属空间而 1 维为时间——的，尽管我们感觉到的只有 4 维，当发生宇宙“大爆炸”时，所有属空间的 9 维被认为大致均等。接着，当宇宙膨胀时，其中只有 3 个空间维随其膨胀。超弦理论还主张：宇宙中任何物都由弦组成，这种弦是如此之短，以致 10^{33} 条弦首尾相连接的总长才 1 厘米。

原子粒子　ATOMIC PARTICLES

有史以来，人类有感于宇宙的奇妙，并尝试描绘、理解宇宙和人类在宇宙中的位置。而且每一种文化都尝试解释宇宙，并将自然现象置于统一的图像中。

从 1600 年前后开始，人类对小的易于处理的问题集中努力，取得巨大进步，然而，这个基本的统一的图像仍然是一个目标。从那个时候起，已经仔细考察了许多分散的现象，并看出像是同一结构的不同部分。20 世纪 70 年代之前，人们认为自然界存在四种主要的力，而且没有一个理论能够从数学上定义它们中的两个。现在每个力都有一个理论。在 20 世纪 80 年代后期，科学家提出自然界存在第五种基本力的假设。20 世纪 90 年代早期的一系列实验得出结论，第五种力并无牢靠的证据。

此外，科学家还不断发展新技术，比以往更深入地探测物质结构，并将物质分解为更基本的成分。原子的概念在公元前 5 世纪已经存在。但直到 19 世纪初，这个概念才发展成为科学的理论。建立现代的原子理论后，几乎立即发现原子并非如人们所寻找的像质点似的构筑物质的基本单元，作为替代的，是原子由一个极小的核和受它约束的电子构成。原子核是由中子和质子构成。在一段时间内这些粒子似乎有可能成为基本构筑单元，但在 20 世纪 60 年代，又发现中子和质子也有它们的内部结构。

现在，宇宙中的一切物质被认为由三类基本粒子构成：(1) 第一类粒子称夸克，构成了中子和质子；(2) 第二类称轻子，包括电子和一些类似的粒子；(3) 第三类粒子称玻色子或矢量介子，包括传递电磁力的看上去像光的光子。其他玻色子是传递别的力的类似粒子。自然界中的力和它们如何发挥作用都不能和物质的构成分离。一些科学家建议轻子和夸克可能是处于不同状态的相同粒子。玻色子也可能是同一类粒子而处于其他状态。

物质的构成

如图 1 所示，物质的基本构成能分为五个层次。这些层次是在明显不同的阶段中发现的。先考虑最上面的一个层次；分子构成了日常世界。但它们是如此之小（直径只有百万分之一厘米），证实它们存在还是不容易的。在 19 世纪的下半叶，分子的存在已获得有力的间接证明；约在 1906 年，物理学家爱因斯坦和佩兰正确地理解和研究了布朗运动，才找到分子的第一个明显的证据。（布朗运动是悬浮在液体或气体中显微粒子的无规运动。这些粒子受到周围流体的分子的碰撞才引起这个无规运动。）

第二层次早就预见到了。分子种类繁多，简化概念的必要性是显而易见的。俄国科学家门捷列夫论述到全部化合物是由一系列更基本的物质即化学元素构成，每种化学元素只由一种原子构成。约在 1869 年，他发表了他的周期表，显示了这些元素有许多规则性和一系列重复出现的性质。

自然界中有 92 种基本的元素，实验室中能制出更多种。原子的存在并构成这些元素在 20 世纪初期已确信无疑。在 20 世纪 20 年代，原子的性质和表现也了解了。（参见：**物质；分子**）

原子的结构　甚至当原子的存在刚被确认时，新的实验证据显示原子不是类似质点的粒子，物质还另有一个层次。一个揭示是 1897 年的电子的发现。然后，1911 年英国物理学家卢瑟福用 α 粒子（由一些元素发射的带正电荷的射线）射向金箔，他发现大部分射线穿箔而过，有时稍有弯折，但偶而有一些被撞回。这个现象表明构成金箔的原子在结构上并不均匀，像一个中心有硬核而向四周展开的物体。卢瑟福发现了原子核。

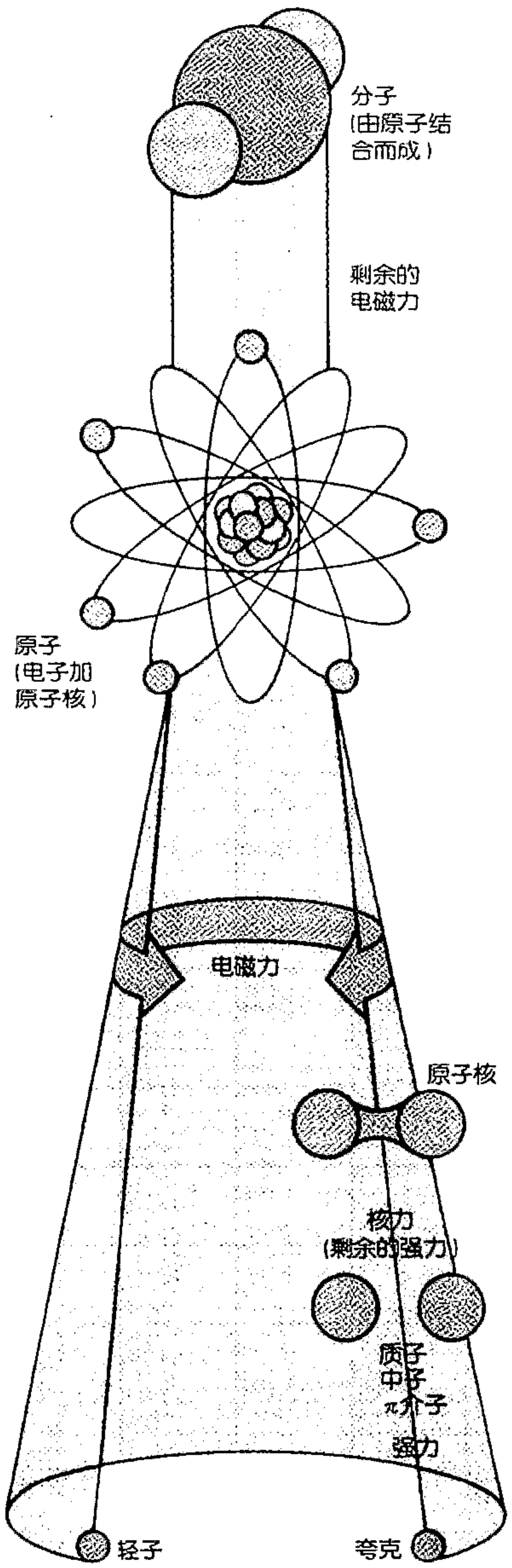


图 1　图示当代对物质构成的认识，共设五个层次。也显示了把同一层次的粒子结合在一起形成下一层次的力。至今所知，夸克和轻子是基本的类似质点的粒子。从图的底部开始，一些夸克以强力结合在一起，此力由胶子（未画出）传递，形成质子、中子、介子和其他强子，这些粒子都有大小和结构。强力的一些剩余部分把质子和中子结合成原子核。然后原子核和电子由电磁力结合成原子，此力由光子（未画出）传递。最后，原子由剩余的电磁力结合成多种分子。详见正文中的更深入的讨论。

每个化学元素的原子有一个与其他元素不同的原子核。有足够数目的电子围绕这些原子核，使原子呈电中性。确认原子核是由质子和中子构成，是花了一些时间的（中子是在 1932 年发现的）。质子带正电，中子是电中性的，由于质子间存在静电排斥力，需要有一个新力即核力使原子核结合在一起。日本物理学家汤川秀树建议一种称为介子的粒子传递强核力，和光子传递电磁力很相像。第二次世界大战结束后不久，英国物理学家鲍威尔发现了介子。

已经讨论了物质的四个层次：分子、原子、原子核和强核力。分子是由原子结合而成的。原子是由电磁力把电子约束在很小的核的周围而形成的，如果一个原子靠近另一原子，一个原子的核和电子产生的电磁场轻微地影响到另一个原子中的电子，所施的剩余电磁力把原子结合成分子。原子核由中子和质子组成，核力强大到足以克服质子间的电斥力而把全部核内粒子结合在一起。以上提到粒子可分为两个类型：电子，不参与核力或强相互作用；质子和中子，受核力影响。

夸克、轻子和玻色子　在 20 世纪 60 年代，更深入的研究揭示了这些基本粒子是由更基本的称为夸克的单元构成的。在 20 世纪 80 年代中期，夸克被确认为物质的基本组分，它对原子核的结合力即强力有反应；而轻子是对强力无反应的粒子。夸克是有质量的粒子，它的自旋为$\frac{1}{2}$，并带有分数电荷。（自旋是全部已知粒子都具有的内禀角动量。）夸克永远是几个结合在一起出现的。

夸克有六类，称六味（因为一次将几类夸克按冰淇淋的味道巧克力、草莓、香草命名）。现在将味分为上、下、顶、底、奇异和粲六类。其中只有上、下两类出现在常见物质的质子和中子中。其他四类——顶、底、奇异、粲等四味——只存在于不稳定的粒子中，不到 1 秒钟，它们就自动衰变了。上、粲和顶夸克带了$\frac{2}{3}$电荷，下、奇异和底夸克的电荷为$-\frac{1}{3}$。由夸克构成的全部粒子称为强子。由 3 个夸克构成的粒子如质子、中子和其他强子称为重子。由一对夸克和它的反夸克构成的强子称为介子。具有自旋为 $\frac{1}{2}$ 的奇数倍例如为 $\frac{1}{2}$ 或$\frac{3}{2}$的全部粒子称费米子。包括在这一群内的有轻子和重子。（参见：**夸克**）

轻子总是在核外找到的，因为不同于夸克，它们对将核结合在一起的强力毫无反应。轻子有六个类型，它们总是单独出现的。轻子有一个负电荷，自旋为$\frac{1}{2}$。电子、μ 子和 τ 子都是轻子。每个轻子有一个相联系的中微子，中微子没有电荷，质量或为零或小得可忽略不计。轻子只对电磁力、弱核力和引力有反应。（弱核力在核蜕变中起作用，即当原子核自动地发射核物质时。）

夸克和轻子是物质的基本粒子，此外，还有称为玻色子的另一系列粒子。人们确信一切力是粒子间相互作用的结果，而夸克或轻子间的一切相互作用都由玻色子传递。最熟悉的玻色子是光子，它传递电磁力。使夸克结合成为质子和其他强子的强核力，是由称为胶子的 8 个玻色子传递的。引起放射性并

促使太阳产生能量的弱核力是由 3 个称为矢量介子的玻色子传递的。由于历史原因，它们常被称为 W^+、W^- 和 Z^0 玻色子。光子和胶子的质量为零，矢量介子则十分重。据推测，可能也存在引力子，以传递引力。1983 年，在瑞士日内瓦的欧洲原子核研究中心（CERN），发现一些粒子，其形成和衰变与预言的 W 和 Z 粒子的行为一致。

一些原子粒子

重子 由 3 个夸克组成的强子。
玻色子 传递基本物理力的粒子。
电子 最轻的轻子。它们的电荷为 -1。电子在电的和化学反应中起重要作用。
费米子 自旋为半整数的奇数倍如 $\frac{1}{2}$ 或 $\frac{3}{2}$ 的全部粒子。包括轻子和重子等等。
胶子 在夸克间传递强力的玻色子。
引力子 假想的传递万有引力的玻色子，至今尚未检测到。
强子 由夸克构成的全部粒子。
轻子 只出现于原子核外的粒子。轻子有六种类型：电子、μ 子、τ 子和它们的有关联的中微子。
介子 由一个夸克和它的反夸克构成的强子。
μ 子 比电子稍重的轻子。虽然在宇宙起源的最初瞬时内普遍存在，现在只出现于加速器和宇宙线中。
中微子 不带电荷、无质量或质量很小的粒子。
中子 不带电的基本粒子，和质子一起构成原子核。
质子 带正电的基本粒子，和中子一起是原子核的组分。
夸克 组成中子和质子的粒子。夸克有六种类型，称六味：上、下、粲、奇异、顶和底。
τ 子 最重的轻子。如今这些粒子只能在粒子加速器和宇宙线中找到，然而在宇宙起源的最初瞬刻，曾丰富一时。
矢量介子（也称为 W^+、W 和 Z^0 玻色子。）传递弱核力的玻色子。它是形成一些放射性衰变的主要原因。

物质的基本粒子

粒子	自旋	电荷	质量近似值	色	味
轻子					
e	$\frac{1}{2}$	-1	$\frac{1}{2\,000}$	无	有
v_e	$\frac{1}{2}$	0	0	无	有
μ	$\frac{1}{2}$	-1	$\frac{1}{10}$	无	有
v_μ	$\frac{1}{2}$	0	0	无	有
τ	$\frac{1}{2}$	-1	2	无	有
v_τ	$\frac{1}{2}$	0	0	无	有
夸克					
u	$\frac{1}{2}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{50}$	有	有
d	$\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{3}$	$\frac{1}{100}$	有	有
c	$\frac{1}{2}$	$\frac{2}{3}$	2	有	有
s	$\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{3}$	$\frac{1}{5}$	有	有
t	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	>18	有	有
b	$\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{3}$	5	有	有

表 A 色、味这些属性在粒子物理学中有清晰的技术意义（见释文）。这些粒子的质量差别较大，表中以质子的质量为 1，表示它们的相对质量。电荷值也相对于质子。自旋是由于粒子绕它的轴转动而产生的角动量。对每个粒子都有一个具有相反电荷、色和味的反粒子；表内未将它们列上。

反粒子 20 世纪 30 年代早期，英国物理学家狄拉克预言存在反粒子。对当时认定的每一个基本粒子，必须存在另一个质量相同而电荷（还有一些其他量）相反的另一粒子，现在认为这是正确的，并经实验证实。

例如，电子的反粒子是正电子，质子的反粒子是反质子，夸克的反粒子是反夸克。（在本条目的后续部分中，反粒子常以粒子名出现，在其上加一横划，如用 $\bar{q}$ 表示反夸克。）

原子粒子的性质

一些明确的性质显示每个原子粒子的特性。这类性质包括质量、电荷、对称性、色和味。

质量和电荷 每个基本粒子都有明确的质量。不同粒子的质量差异很大，物理学家还不知道怎样说明这些质量。第二个最熟悉的性质是电荷。玻色子或轻子的电荷或和电子相同（常称 -1），或和质子一样带有与电子相反的电荷（+1）。也有电中性的粒子如中子或中微子。夸克有分数电荷 $-\frac{2}{3}$。

对称性 对一种东西完成一个数学操作以后，它仍保持不变，这种东西就具有对称性。例如，如果一个圆绕通过圆心并和圆面垂直的轴转动，就保持形状不变。一个等边三角形绕通过中心的垂直转动 120°，也恢复原状（见图 2）。数学家将多种系统经操作或运算后保持不变的途径推广并编组，形成一门数学，称为群论。如果存在一系列作用于一群个体的操作，使这些个体和它们之间的关系不变，这个操作集（合）就被称为对称群。这就是说，这些个体在对称操作之下“相互进入”。对称群有各种名称；一些特别的对称群非常适合用来描述粒子和自然力是如何组织的，称为 SU(N) 群。名称中的 N 指操作所作用的个体的基本数。

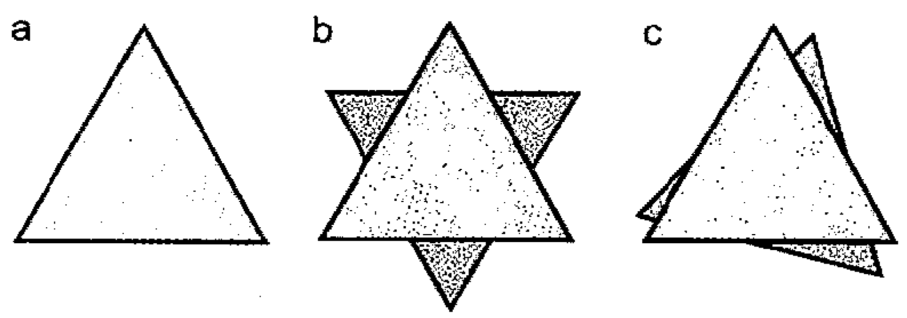


图 2 图示一种对称性。图中三个图像绕通过图像中心并和图面垂直的轴转动 120°后，全将恢复原像。图像（b）和（c）是由两个中心重合的图像（a）结合而成的。显然，能够完成具有同样对称性的还有许多更为复杂的结合。图像（c）的对称性稍差，但仍有其他两个图像所体现的基本对称性。

物理学家发现支配粒子和它们的相互作用的定律在某

些操作集中是不变的。特别地，第二次世界大战后发现的粒子在对称群 SU(3) 的操作下互相进入。出乎意料地，对应于目标集的已观察到的粒子并未包括这些目标的可能的最简单的集。图 2 释示了一个类似的例子。假如观察到的粒子位于分图 (b) 和 (c) 的几个角上，当转动 120°时，自然定律并无变化，使这些粒子集看上去很简单，但图 (a) 角上的最简单的集并未观察到。

1964 年，美国物理学家盖耳-曼和兹韦格分别独立地建议全部强子都是由另一层次的物质构成，类似图 2 中的 (b)、(c) 同由 (a) 构成。盖耳-曼称这类物质为一些夸克。(按下一节的语汇，它们被称为 u、d 和 s 夸克。)夸克一词取自爱尔兰文学家乔伊斯的小说《为芬尼根守灵》中的一句话——"三个夸克为了穆斯透·迈克……"(参见：**盖耳-曼**)

在整个 20 世纪 60 年代，实验中观察到亚原子粒子的种类不断增加，许多理论物理学家尝试做出解释。他们得到了和盖耳-曼与兹韦格相同的结论——夸克是基本的强相互作用粒子。确认质子和中子是由夸克构成的最直接的理由，来自加利福尼亚州斯坦福的斯坦福直线加速器中心 (SLAC) 的实验结果。在 20 世纪 60 年代后期，研究人员重复卢瑟福发现原子的核的实验，使能量很大的粒子被质子散射，出人意料，大量电子以大角度弹回而非几乎直通而过。仔细的研究显示，应该想像质子主要由三种质点似的粒子——夸克——构成。(也发现了存在胶子的证据，胶子把夸克结合成为质子。)

科学家所以确信夸克的构成物质，还有其他的理由，其中之一是夸克构成质子、中子和其他强子时，只允许有几种

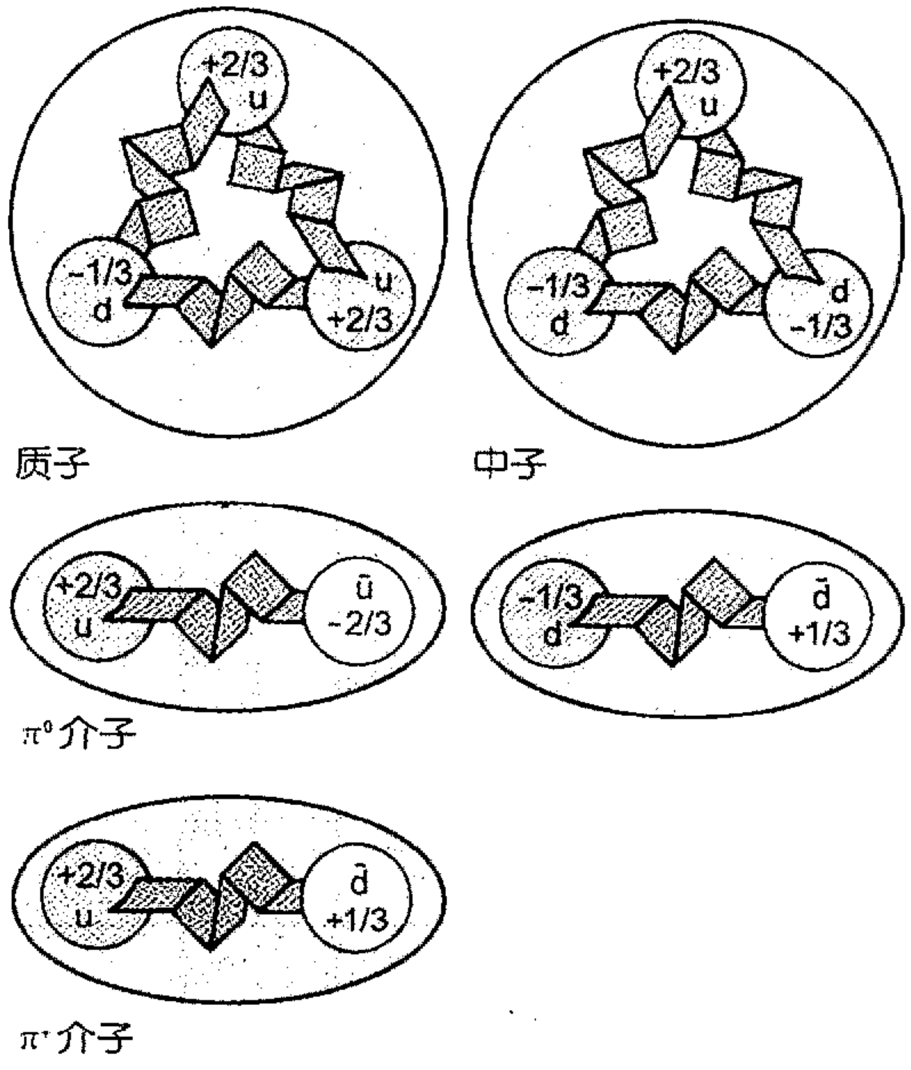


图 3 图中很简单地表示质子、中子、π 介子和其他强子是由夸克（深灰球）和反夸克（浅灰球）构成的，它们靠胶子（弯折的带）结合在一起。详见本条释文。

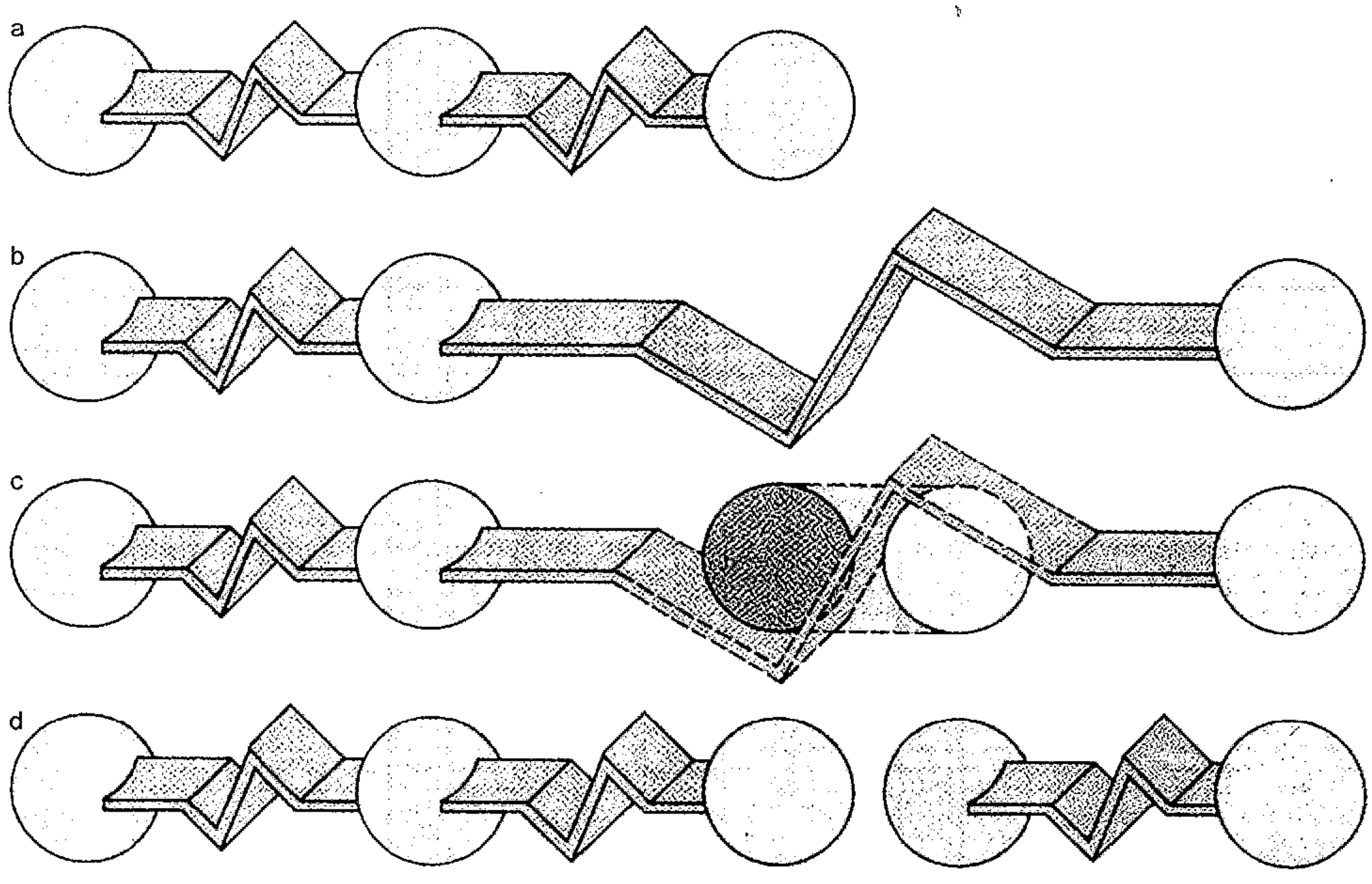


图 4 单个夸克（用圆表示）不能从它们构成的粒子分离。把质子想像由三个夸克构成，为了简化说明，把三个夸克放在一条线上 (a)。现在尝试把一个夸克拉走 (b)。为此，我们提供了一些能量，并拉伸了胶子（用弯折的带表示）。当能量足够有效地产生夸克-反夸克对时，这对夸克就产生了 (c)。于是新夸克对中的夸克和原在质子中的其他两夸克构成质子，而反夸克则和受拉的夸克结合成 π 介子。所以只产生像质子和 π 介子那样的通常的强子 (d)。

组合。质子和中子由三个夸克构成，介子如 π 介子由夸克-反夸克对构成（见图 3）。如果夸克理论是正确的，某些强子态必须存在，而其他态必不存在。这两个条件都满足了。存在夸克的另一证明，是描述夸克如何进行强的和弱的相互作用的理论，解释了不少重要的实验结果。

理论物理学家已经揭露了多种线索，明确地显示了物质的每个层次都有内部结构。质子并不像一个质点似的粒子与磁场相互作用，用当电子被它散射时显示它有内部结构。但夸克和轻子被探试到很短距离仍未显示出结构，它们似乎是像质点似的粒子。

夸克还有另一个可能十分重要的性质。虽然有多种方法可以观察到它们，但普遍相信，它们是不可能被分离的。把它们结合在一起的力当它们之间的距离增加时被认为是不变的，要分离一对夸克需要做很多很多的功。但当进入这个夸克系统的能量达到某一高度时，这个系统将产生一对夸克-反夸克（$q\bar{q}$）。在发生此事后，从这个系统只呈现 qqq 或 $q\bar{q}$ 两种结合体（见图 3 和图 4）。夸克不能分离，能够观察到的只是它们的结合体，这个概念称为夸克的囚禁。囚禁可能是物质可分性这个多年老问题的新答案。

色和味 夸克还有其他两个性质。虽然在日常生活中没有和它们同样的性质，但鉴于它们的表现有点儿相像，就给了它们两个很熟悉的名称——色和味。这些名词有和它的日常定义完全无关的明确的专业含义。

色在结合夸克的强力中的作用，就如电荷在电磁力中。带电粒子产生电场和磁场并互相交换光子。夸克带有色荷并交换胶子，每个夸克能够有三色，色具有 SU (3) 对称性。胶子也带有色荷，而光子不带电荷；所以色力与电力不同，并比电力更为复杂。带色的胶子传递强力，并和带色荷的粒子互相作用。全部已知的强子或是由三个夸克构成的，能够把它们可能带上的三色结合而成为无色的粒子（质子、中子）；或是夸克加上反夸克，也能产生无色的粒子即 π 介子。色的结合规则不允许有其他的产生无色粒子的途径。

味似乎具有和色很不相同的性质，也许存在更深的相似性。至今，已知轻子有六味（即六轻子味），夸克也有六味（六夸克味）。三种轻子味有电荷 -1，其中最轻的是我们熟悉的电子（e）。次重的是 μ 子，最重的是 τ 子。除了质量和与质量有联系的明显效应之外，μ 子和 τ 子的表现与电子相像，只有一点不同——它们有一种潜在的属性，不允许它们发射能量后转变为电子（好像所期望的那样它们只是重电子）。所以它们有不同的味。e、μ、τ 都有它们自己的中微子——中微子的三味。至今，实验已经确定三种中微子并无不同，虽然一个电子中微子在相互作用下只能产生一个电子，决不产生 μ 子和 τ 子，而 μ 子中微子在相互作用下总是产生 μ 子，决不产生电子或 τ 子。（τ 子中微子至今未在实验中直接检测到，但有存在的间接证据。）

有一种简化方法。六味能简化为三对，称为“偶”：

$$\binom{\nu_e}{e},\ \binom{\nu_\mu}{\mu},\ \binom{\nu_\tau}{\tau}$$

此处 ν 表示中微子，用下角标 e 即（ν_e）表示电子中微子，等等。上面提到的三对“偶”似乎有全同的本性。弱相互作用将每对“偶”的上下两个成员联结起来，但偶和另一偶之间没有发现相互作用。

夸克也有同样情况。有三种带电荷 $\frac{2}{3}$ 的夸克味，还有三种带 $-\frac{1}{3}$ 电荷。最轻的一对称上和下夸克，用 u 和 d 表示，上、下表示它们是一对“偶”。其次发现的一个夸克称奇异夸克，用 s 表示，它的发现和一些新的奇异表现的粒子有关。s 夸克和粲夸克（c 夸克）成偶。粲夸克是 1974 年发现的，它具有理论物理学家所期望的一些性质，从而以压倒优势说服了大部分粒子物理学家，使他们相信粒子和它们的相互作用理论是基本正确的。使用了气泡室和特殊的照相方法发现了粲重子。第三对“偶”是由顶夸克（t）和底夸克（b）组成。b 夸克于 1977 年发现，而 t 夸克至今没有直接找到，但有存在的间接证据（在弱相互作用理论中，b 夸克在没有 t 夸克的条件下表现有异）。t 夸克所以至今没有发现，大家相信因为它的质量太大，很难用现有的加速器产生它。

因此，夸克也有三对：

$$\binom{u}{d}\ \binom{c}{s}\ \binom{t}{b}$$

再则，每一对夸克都由强相互作用联系，但是它们带相同电荷的情况下，不同对之间的夸克并未发现有相互的联系。玻色子的性质概括在表 B 中。

粒子物理学中需要解决的主要问题之一，是为什么夸克和轻子似乎都有三个表现全同的族。宇宙似乎仅仅是由 u、d、e、ν_e 四种粒子构成的。一切其他状态都是不稳定粒子，它们在远不到一秒钟内就衰变为 u、d、e、ν_e 的一些组合。第二和第三对“偶”中的粒子只在加速器中产生或偶而在宇宙线粒子碰撞时出现，只有很短的生命，衰变并回归到 u、d、e、ν_e。至今，没有人理解为什么存在重夸克和重轻子，或是否还能发现更重的夸克和轻子。

自然力的统一

如果清晰地理解了基本粒子，也一定理解了作用于这些粒子的力和相互作用。通过长期耐心的实验和观察，科学家慢慢地开始理解这些力和相互作用。在 18 世纪，已经知道三个基本现象：重力（G）、电（E）和磁（M）。在 19 世纪的前半世纪，英国物理学家法拉第和麦克斯韦将电和磁的理论统一成为一个基本理论，即电磁学（EM）。在 19 世纪末，弱相互作用（WI）发现了；稍后，核力（N）也察觉了。约在 1970 年，证明电磁相互作用和弱相互作用能被统一为一个基本相互作用，即电弱力（EW）。两位美国物理学家格拉肖和温伯格与巴基斯坦物理学家萨拉姆为了他们在电弱理论的研究获得 1979 年诺贝尔物理学奖。

电弱理论基于对称群 SU (2)（见上文对称性一节的讨论）。对称性起作用的两个粒子即是一对夸克偶或轻子偶的两个成员。因此 u 夸克、d 夸克或电子和电子中微子并未认为处于互相隔离的状态，而认为是由相互作用联系的有关联的粒子（它们犹如在这个对称性的虚空间中的转动）。因为所关联的状态有不同的电荷，必定涉及电磁相互作用，而引起 u↔d 和 e↔ν_e 转变的弱相互作用就和电磁相互作用统一了。

同时，也了解了强力是夸克和胶子间一个力；这个力是

被真正地发现了，物理学家和其他科学家积极研究这个力，以求更好地了解它如何起作用。至今，科学家已经发现核力是剩余力（质子和中子间的核力与夸克和胶子间的基本强力的关系，和使原子构成分子的力与结合电子和原子核成为原子的电磁力的关系，有很多相像之处）。完备的电磁学的相对论的量子理论已被称为量子电动力学、完备的相对论的强（色）相互作用的量子理论，则被称为量子色动力学。

玻色子的性质

名称	自旋	电荷	质量	与色的相互作用?	与电荷的相互作用?	有无变味?	担当的任务
γ光子	1	0	0	无	有	无	传递电磁力
8个胶子	1	0	0	有	无	无	传递强力
W^+	1	1	约 80	无	有	有	传递弱力
W	1	-1	约 80	无	有	有	传递弱力
Z^0	1	0	约 90	无	有	无	传递弱力
X	1	4/3	约 10^{15}	有	有	有	在大统一理论中提出，预期它调剂中子的衰变
Y	1	-1/3	约 10^{15}	有	有	有	

表 B 玻色子传递已知的各种自然力，并把夸克和轻子结合在一起，形成物质的台阶。光子和胶子已观察到；矢量介子（W^+、W^- 和 Z^0）的效应也已见到。X 和 Y 是大统一理论所预言的。色和味是粒子具有的性质，用生活单词表述，但在粒子物理学中有明确的专业涵义（见本条目释文）。这些粒子的质量在很宽范围内变动，而以质子的质量为 1 表示，这是一个适用的单位。电荷也以质子的电荷为 1 来表示。

科学家多年来希望全部基本力可以用一个统一的原理来理解。同样地，也希望粒子的基本类型关联起来。1974 年萨拉姆和格拉肖分别独立地建议将强、弱和电磁力全统一起来。此外，夸克和轻子能够合在一起作为另一种对称的基本粒子——按格拉肖的观点，d 夸克的三色加上电子和电子中微子形成 SU(5) 对称性起作用的五个基本粒子。这些理论被称为大统一理论或统一场论。但大统一理论究竟能否与自然界一致，或者说哪种理论是正确的，尚未清楚。然而由这些理论所作的预言能够用实验测试。检验这些理论并有助于物理学家研究问题的主要预言之一：质子并非如大部分科学家长时间内所深信，是个永久的稳定的粒子。反之，质子将衰变（最后转变为正电子 e^+ 和光子）。

为了检验这个可能性，技术专家尝试用特殊设计的仪器检测这类事件，他们把仪器放在地下深矿中，以屏蔽从较外层大气滤剩下来的宇宙线的轰击。使用这项技术，科学家注视许多质子，等待偶然的一次衰变（任意一个质子寿命期望值都比宇宙的年龄长得多）。实验在进展中，物理学家希望实验将帮助他们找到质子衰变的证据。这个成果将是人类对宇宙性质探索史中的一个令人瞩目的成就。

人们仍在寻求把一切已知的自然力组合在一个单纯的统一理论中。虽然取得了一些进步，最终的成功可能需要对空间、时间乃至量子理论的普遍流行的观点做根本性的修正。（参见：**化学；光；核能；原子核物理学；物理学**）

夸克　QUARK　从科学萌芽起，追寻物质的最基本组元是科学探险的目标，夸克的发现可能代表这个目标。约在 1900 年，原子由更小的粒子构成已成为理论。原子是一个复合系统，它有一个集中极大部分质量的核心，即原子核，还有围绕着核的电子云。电子是质量远比核小的带负电的粒子。原子核则由带正电的质子和不带电的中子构成。起初科学家相信质子和中子是没有结构的，在 20 世纪 60 年代，他们发现质子和中子是由更小的粒子构成。1964 年，美国物理学家 M. 盖耳-曼把它们命名为夸克。他从 J. 乔伊斯的小说《为芬尼根守灵》中的一行话——三个夸克为了穆斯透·迈克——借用了夸克这个词。（参见：**原子粒子，盖耳-曼**）

已发现的亚原子粒子有许多不同的类型。主要的三类是轻子、夸克和规范玻色子。规范玻色子包括光子，它参与电磁力（产生电和磁事件的力）；W 和 Z 粒子，它们参与弱力（引起某些类型的放射性衰变的力）；胶子，它们参与强力（参与将原子核的组分结合起来的力）。可能还有引力子，它参与万有引力。

已发现的夸克总是结合在一起的，从已经知道的情况来看，它们不能单独出现。一般认为它们有六个类型，称为六味，即上、下、奇异、粲、顶和底夸克。顶夸克的存在还没有得到证实。这些夸克能以不同方式结合，形成 100 多种粒子。

夸克的特定的结合确定了所形成的粒子类型。例如质子由两个上夸克和一个下夸克构成，而中子是由一个上夸克和两个下夸克构成。人们相信宇宙中的全部物质都是由夸克和轻子构成的。

由夸克构成的任一种粒子称为强子。由三个夸克构成的强子——例如质子和中子——称为重子，而由两个夸克（严格地说，是一个夸克和一个反夸克）构成的粒子则称为介子。

夸克的性质已经知道得不少，而对强子内夸克如何排列却知道得不多。通常使用的形象之一称袋式模型，按照这个模型，强子可以认为是一个装得下两个或三个夸克的小口袋，这由它是重子或介子而定。在口袋内，它们可以到处停留，但强力阻止它们相互走散。

在核反应中，夸克能够从一个口袋跳到另一口袋，从一类强子跳到另一类强子，但它们不能离开口袋而存在，口袋里至少还有另一个夸克。如果这些话是对的，口袋能够永远不空，单个夸克也不能隔离出来研究。要问夸克是由什么构成的，可能毫无意义。但一些科学家猜测夸克和轻子到头来仍是有结构的——由比它更小的碎片构成。这个世界是由什么构成的？六个已知的夸克和六个轻子可能被证明是最后的回答。或者这些粒子将被证明仍是另一个起始点。

反物质 ANTIMATTER 见：物质

分子 MOLECULE

分子是在不改变化合物的物理和化学性质情况下，能分割成的最小的单元。它们由许多原子结合而成，是一切物质的基本结构单元。(见：**原子粒子**)

由于分子包括 100 种以上已知原子的各式各样的组合，它们以非常大的数目的结构形式存在。分子能成环状或链状。它们能以很长的重复结构联结，成为聚合物。在某些条件下，它们能形成一个非常精确的晶格。一般说来，分子的结构设计有利于达到能量上最稳定的结合。

在一些条件下，如果原子和键的结合方式相同，就会导致能量上稳定的互为镜像的结构，这些结构的化合物称做异构体。

分子不是静止的，而是动的，经常处于运动中。其原子围绕另一个原子相互旋转并振动。原子的位置，它们的相对运动，以及它们的键的强度能够被热、磁场和其他力所改变。在寻常情况下，一种物质为固体、液体或气体，取决于化学键的性质和分子内原子运动的相对自由度。

键和分子的极性

当原子结合成分子时，它们不是共用电子，就是交换电子。当两个或更多的原子共用电子时，结果形成所谓的共价键，此时便形成了真正的分子化合物。这些键是很强的，需要很多能量来破裂它们。以共价键形成的化合物不导电，由于它们不易溶于水，因此被称为非极性的。

另一方面，极性分子易溶于水。当原子交换电子形成所谓离子键时，便形成极性分子。由于或者失去电子或者得到电子(称做电离)的结果，这些原子已经变得更稳定，所以这些键是强的。由离子键所形成的分子不是真正的分子，因为那些电子不是被共用，而是被交换了。

通过离子键形成的化合物是由任意的离子混合物组成的，这些离子是由于已经失去或得到电子而带电荷的一些原子或原子团。这些原子保存着电荷，因为它们并不与任何一个与之交换电子的特定原子形成键。以氯化钠($NaCl$)或食盐为例，当钠在氯存在下加热，它失去一个电子变成带正电荷的 Na^+。这个电子被氯得到，使它成为带一净负电荷的 Cl^-。反应产物水溶性的 $NaCl$ 是一个自由离子的集合体，这些自由离子能导电。(参见：**化学**)

分子量

一个分子的相对分子量由构成它的原子的相对原子量之总和计算得出(见：**化学元素**)。例如，水(H_2O)包含两个氢原子(H_2)和一个氧原子(O)。氢的相对原子量约为1，而氧的大约 16，从而水的相对分子量大约为 18。

分子量还可以以克表示，在这种情况下，将分子量定义为一摩尔物质的用克表示的量。一摩尔等于 6.02×10^{23} 的粒子的单位。数值 6.02×10^{23} 称做阿伏伽德罗数(见：**化学元素**)。10^{23} 意味着 1 后边跟着 23 个零，或 10 亿个 10 亿再乘以 100 000。一摩尔水或 6.02×10^{23} 个水分子重 18 克。

科学研究

最近的科学研究注重于有生命的有机体中的分子和支配生命各系统生长的分子反应。例如研究工作者们研究活细胞的中心分子 ATP 或嘌呤核苷三磷酸——一种分子电池——的功能。ATP 中的高能共价键形成或破裂时，把能量传递给其他分子。

研究工作者们还研究酶的性质。酶分子在细胞内改变其他分子的结构。它们是催化剂，能选择地引发共价键破裂或改造，自身并不会改变。

目前大量注意力集中在控制遗传的大分子，如脱氧核糖核酸或 DNA 和其“信使”核糖核酸或 RNA。DNA 和 RNA 是聚合物，它们是 4 个基本分子，即核苷酸的链，这些核苷酸由共价键联结在一起。遗传工程师们能有选择地破裂或改造这些键，同时能随意改变遗传密码。

真空 VACUUM

完全真空是一切物质都被排除的空间。这些物质包括固体、液体和气体(空气在内)。它是什么都没有的空间。由于没有方法和设备能把封闭空间内的物质全排尽，完全真空是不可知的，它只有理论意义。曾经一度认为在外部空间可能存在完全真空。现在科学家们知道恒星间的表观上的真空空间，包含着大量气体，大部分是氢气。

使用真空泵可以达到不完全的或部分的真空。占很高比例的气体从空间排除时，这空间就被称为高真空，等于说其中的压强很低。

部分真空是常见的。热水瓶胆的两层瓶壁中间就是部分真空的。真空阻碍热传导，使液体保持近乎原来的温度。在汽车发动机的气缸中要产生部分真空，以便形成爆燃所必需的空气和燃气的混合物。真空除尘器、咖啡制作器和真空柱塞的操作也取决于部分真空。电灯泡内的空气抽净了，所以灯丝才不会像在氧气或空气中立即烧断。水泵内活塞的运动产生真空，使水上升。

真空在工业中的应用

最近的50年中，开发了工业上多种有益的真空过程。低压下，液体的沸点要比常压下的沸点低。这一实验成果已用于食品和医药工业。牛奶、糖浆、果汁和蔬菜汁在真空下浓缩。这允许水分在低温下汽化而不使产品焦化。维生素和抗生素在真空下制作，避免因温度较高而产生的化学变化。

1906 年，德福雷斯特发明三极真空管。这种有特殊结

构的真空玻璃管能把电信号放大到原值的许多倍。它将人类引入了电子信息时代，给我们无线电、电视和雷达。真空管在光电管、电子显微镜和几百种其他电子设备中也有极为重要的应用。

科学家对真空的兴趣

在程度很高的真空下，封闭空间内的全部气体分子几乎都排净了。穿越这个空间的粒子，要行经相当远的距离才会和另一粒子碰撞。物理学家能够不受干扰地控制和研究单个粒子的运动。他用电磁场引导电子或中子流轰击特殊的靶。回旋加速器就是在真空中加速粒子循仔细计划好的途径运动的设备。它所提供的结果有助于科学家解开分子结构的秘密。（见：核能）

真空泵的发展和运用

真空研究的进展史就是真空泵的设计史。在 20 世纪以前，真空由简陋的人工操作泵完成。20 世纪中，油回转泵、分子泵、蒸气冷凝泵、油扩散泵都发明了。这些泵使高真空成为可能。利用现代技术，容器中每百万个分子可抽得只剩一个。压强可降低到 0.00000000001 毫米汞柱，正常大气压强为 760 毫米汞柱。大气中的空气受高压强作用要进入封闭的高真空空间，使容器内外的压强相等。被溶解的气体分子通过固体扩散进入真空空间。固体物质例如容器壁的缓慢蒸发也发生了。当每秒内蒸发进入容器的分子和排出容器的分子一样多时，达到了实际极限，阻止了完全的真空。

万有引力 GRAVITATION

使物体下落和水沿着山坡下流的力，同保持太阳与地球及其他行星在一起并使月亮及人造卫星在其轨道上运动的力是同一种力。这种万物间相互吸引的万有引力是我们最熟悉的一种自然力，但也是其中最没弄清的一种力。

万有引力是现在知道的支配物体行为的四种力中最弱的一种。其他的力分别是：熟知的支配电磁现象的电磁力；使核反应堆和氢弹起作用的“强力”；和涉及放射性的“弱力”。物体间的万有引力则由于其弱而难以在实验室中进行研究。

今举例说明何以称引力为一种弱力。一滴强胶可把两个套环牢牢地粘在一起，以致可用来提起一辆汽车。这意味着胶滴中的基本上是电磁性质的力，比质量为胶滴的 10 亿倍的物体与为胶滴 10^{30} 倍的地球间的万有引力还大。

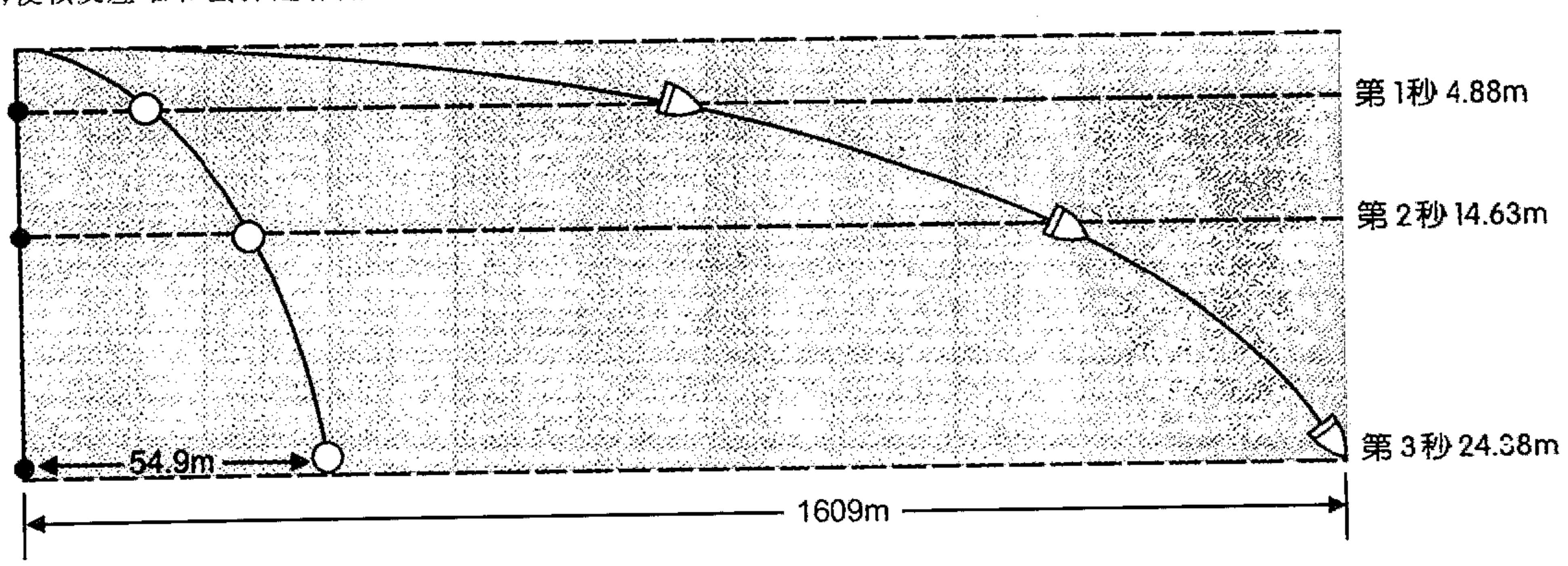
尽管它的微弱性，引力却很重要，因为它不像其他的三种力，它完全是吸引力，并且其作用远及无穷远处。电磁力中既有吸引又有排斥力，而在远处就全抵消掉了。“强力”和“弱力”则只在原子核内的极小距离才起作用。因此，从地球上的可测距离到宇宙最遥远处的范围内，万有引力都是一种重要的力，且在许多情况下是起支配作用的力。

17 世纪的牛顿爵士和 20 世纪的爱因斯坦都以其崭新的引力理论，启动了在宇宙的观察与研究的革命。当今，它仍是理论物理学和天文学上的前沿课题。

重力加速度

在 16 世纪末，意大利天文学家伽利略对重力进行了最早的科学研究。他对金属小球沿一斜面下滚的时间作了测量。他由此而得出重力赋予所有物体一恒定加速度的结论。就是每落 1 秒钟，落体都获得一定附加的向下的速度。在地球上，这个重力加速度为 9.75 米每二次方秒。因此若不计空气的阻力，在第 1 秒钟末落体的运动速度为 9.75 米每秒，第 2 秒钟末为 19.50 米每秒，如此类推。下落的距离则可用微积分法来确定，其结果为 $\frac{1}{2}at^2$，其中 a 为重力加速度而 t 则为下落时间。

与多世纪前希腊哲学家亚里士多德的猜想相反，伽利略发现所有物体因受重力而产生的加速度都是一样的。一片羽毛比一石块落得慢并非是前者受的重力加速度比后者所受的小，而是前者受的空气阻力使它落得慢。空气阻力是随物体的表面积而异的，这样，重量散布于较大表面积上的落体则因受到较大的空气阻力而落得慢。降落伞便是利用了这一原理。



自由下落或作水平抛射的落体或自一枪中水平射出的子弹以同样快慢下落。若同时释放，平掷或发射，它们将同时落地，但落地点不同。上图为从 43.89 米高处到地面的一些物体的轨迹。

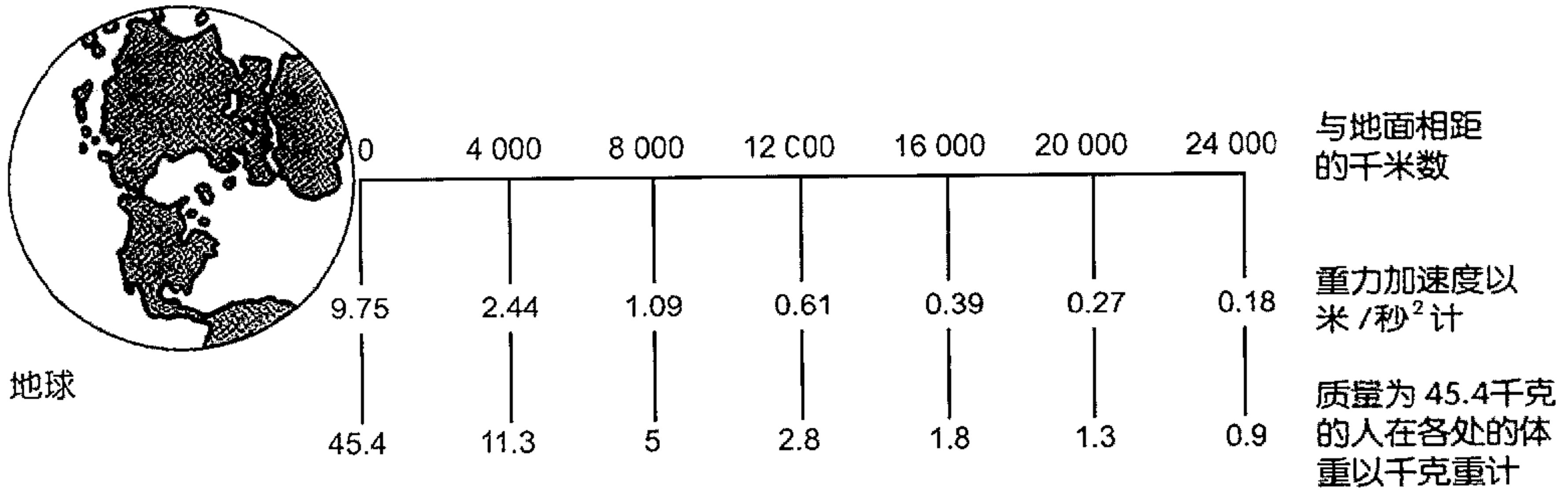
17 世纪晚期，牛顿进一步提出：使物体下落地球上重力和保持行星在其轨道上运行的力，是同一种力。早在该世纪初，德国天文学家开普勒就描述了三条行星的运行规律：第一，所有行星沿一以太阳为其一焦点的椭圆轨道运行；第二，行星与太阳的连线在相同的时间，在椭圆上扫过相等的面积；第三，行星运动周期的二次方（绕太阳一周的时间的自乘）和它与太阳的平均距离的三次方——即平均距离自乘两次——成正比。

在 1687 年他出版的《数学原理》一书中，牛顿证明了开普勒定律和伽利略的地面重力观测结果，都可用简单的一个万有引力定律来说明。在宇宙中的每个天体都按下列公式吸引另一天体：

$$F=\frac{Gm_1m_2}{R^2}$$

式中 F 为吸引力的大小，m_1 和 m_2 分别为受力两物体之质量，R 是两物体间的距离，而 G 则是万有引力常数（6.670×10^{-11} 牛顿·米^2·千克$^{-2}$）。

重力随与地球的距离而变动

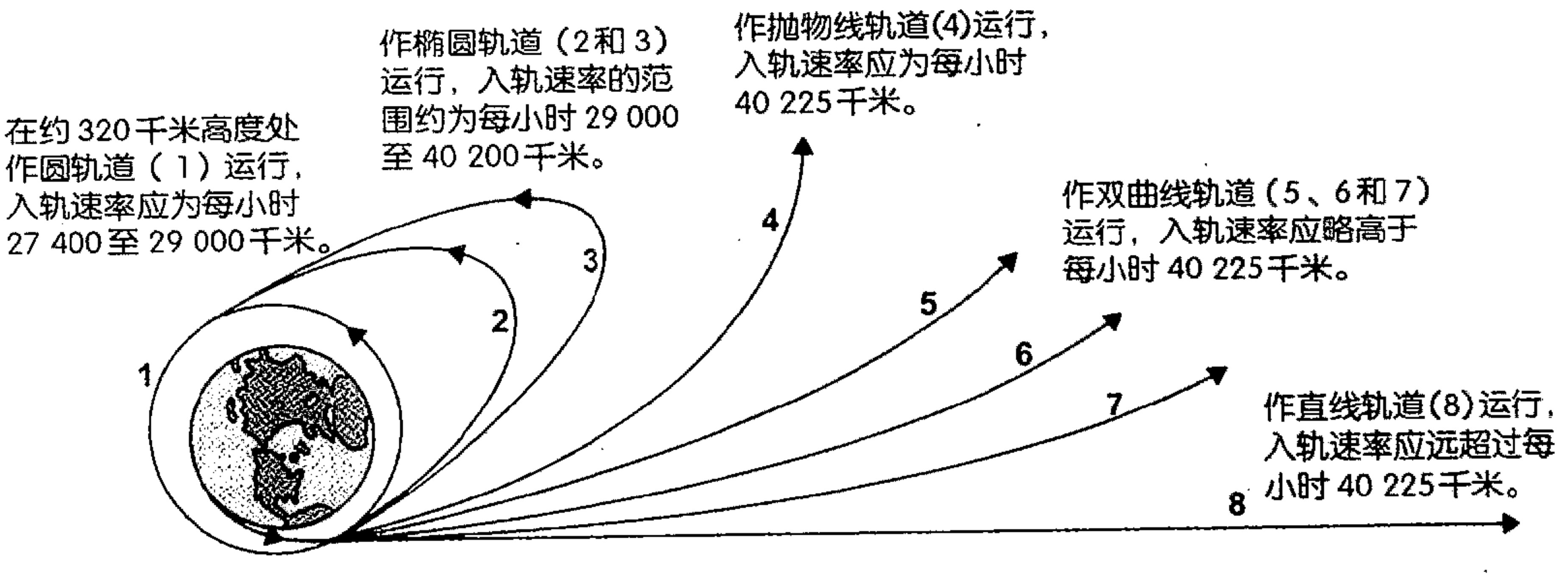


在《数学原理》一书中，牛顿还从数学角度定义"力"的概念，即它等于受力物的质量乘以该力所生之加速度，或 F＝MA，其中 A 为加速度。由于万有引力正比于受加速物体的质量，因此不管其质量是多少的物体，当放在与另一物体的相同距离处，其加速度总是相等的。伽利略就观察到地球上所有物体因地球的重力加速到同样程度。

牛顿从数学上证明了：从他的万有引力定律可推出行星运动是遵循开普勒行星三定律的。牛顿的"世界为一些简单而不变的定律所支配"的观点引起的深远影响，历时超过了一个世纪。

既然行星为太阳所吸引，但为何又不落入太阳中呢？对此，牛顿曾证明：若行星的运行速度够高，则它朝着太阳作加速的运行却不离其轨道。这是因为一物体的运动是由其原先的运动方向与速率——即其速度——和其所受的加速度共同造成之结果。正如系在绳子一头的旋转石子一样，只要石子转得够快，就一直要用手拉住绳子。因此，在万有引力场中的运动够快的物体就一直在其轨道上运动。

重力影响入轨速率



在航天器的几种可能的一级发射中，对每种情况，燃料耗尽后，舱中是无重量或无重力感的。其路线形状与当燃料耗尽时航天器的速度有关。

人类对太空的不断探索和开发，以实例表明了地球重力和太空中引力的联系。开始将一物体愈快地推入空气中，则在落地前就走得愈远。若一火箭发射速度高到每小时 29 000 千米，则其前进的动量就使它不落回到地面上。实际上，它将围绕地球转动，这一点首先为牛顿所料到。如果给火箭以更高的速度——每小时 40 200 公里以上——它便会完全逃脱地球的引力，如从地球发向火星、木星和其他行星的宇宙探测飞船便是这样。以足够高的速度还可使探测飞船完全逃脱太阳的引力。

但绕地球旋转的宇航员却决非处于地球引力范围之外，尽管他们已无重量感。由于重力和与地心距离的二次方成反比，在高空宇航员的重量只比在海平面处稍轻一些。重量感并非直接来自重力，后者本身是不会被感到的。更确切地说，只有当人体所受重力受到某种阻碍时，人才会有重量感。例如，从椅和地板的支持力就会反抗坐着和站着的人所受的重力。这种力，像椅子施于坐者而不使其落下之力，才会为人体所直接感受的。这样的力在（飞船或人造卫星的）运行轨道上消失了。既然宇航员与其所乘的太空飞行器以及其中所有之物都绕地球自由下落而不被其他力所支撑，故而不存在重量感。

宇宙中的万有引力

万有引力不但使各行星和月亮在其轨道上运行，而且将其保持在一起而不相互分离。它对这些行星的创生起部分支配作用。例如，太阳通过其内部深处的核反应，产生了地球上生命所需的光和热。若无太阳自身的引力将太阳吸紧，这些反应就会把太阳吹散。大约在 50 亿年前，太阳与其行星是由本来弥散的微尘与气体收缩而成的，再在它们自身愈来愈强的引力场的影响下而作自我压缩。同样，巨大星系和星团，其中含有数万亿个恒星，是受引力而保持住的，且主要也是由重力收缩所形成的，尽管也许还有其他的力——空间的弥散磁场——在起作用。

牛顿的万有引力定律并未说明物体间为何相吸。到 1916 年，才由理论物理学家爱因斯坦提出的新引力论来解释引力的实质。在他的广义相对论中，引力并非真正存在的力。而其实是，宇宙间每一质量都会在其周围产生对时空结构的弯曲，有些像橡皮薄膜上的玻璃球在膜上所生的效果。每个物体周围受扭曲的空间就使所有物体的路径都弯曲了，连无（静止）质量的光子也不例外。

由爱因斯坦理论作出的预言，如过太阳边上星光的弯曲值，也为观察所证实——最为轰动的 1919 年日全蚀的观测。虽然尚有其他的引力论提出，而相对论现已普遍接受。有些突出的预言当归功于爱因斯坦理论，如黑洞这一概念——如此巨质量的天体，以致光线都不出其强引力场。有些天文学家认为他们已从太空中观测到这样的黑洞。也同牛顿的理论一样，爱因斯坦的时空弯曲的概念深深改变了人对宇宙演变的观点。

尽管爱因斯坦理论很成功，对万有引力仍有不少不明之处。四种自然力中为何它特别弱，为何物质在其周围产生弯曲空间等问题，则至今尚未有答案。以上及其他一些有关引力的根本问题，一直是科学家们在理论研究上的课题。

能量 ENERGY

从悬崖上正在下落的一块岩石有别于躺在下面的同样石块。在一夜的休息和称心的早餐后，活泼的孩子热衷于和伙伴在一起，也和午餐后睁不开眼睛的孩子有区别。一个正在发光的灯泡和被关灭的同样灯泡也有区别。在上述例子中，有一种变化的因素作用于石块、孩子和灯泡。石块、孩子、灯泡是同样的。不同的是一种能量。

能量是自然科学中最基本的概念之一。在宇宙中所发生的一切，都能用能量和物质来解释（见：**物质**）。但是能量的定义却不那么简单，因为能量以不同形式出现，说明这些形式的能量如何互相关联，它们的共性是什么，并不总是容易的。最广为人知的一个能量的定义，也是物理学中使用的经典定义是：能量是做功的能力。

物理学家所定义的功并不总是和一般人的工作概念相一致的。在物理学中，当一个力作用于一个物体使它在力的方向上移动一段距离，这个力就做了功。数学公式为 $W=FS$，式中 F 是作用力，S 是力的方向上移动的距离，W 即所做的功。如 F 或 S 为零，W 也等于零。

如果一个人登上一段楼梯，他可认为做了工作，他努力使他的身子移到较高层次。在这个例子中，依照物理学家所采纳的定义，这个人也做了功，因为他出力把他自己上举了一段距离——从楼梯的底端到顶端的距离。

然而，一个站着不动的人，用伸展的手臂拿住 40 千克的重物，从物理学家定义的功来看，他并不做功。他正用力使 40 千克的重物不致下落到地板上，但重物的位置保持不变。它不因受力而稍移距离。为了避免重物下落，这个人的肌肉自然要用相当的劲，事实上，一般人都认为他正在辛苦地工作。但是，依照物理学采纳的定义，他一点功都没有做。

重力能

能量容易从一个物体转移到另一个物体，特别在热传递中。由于这个理由，常常必须研究整个物体群，在这个群体中能量来回传递。这样的群体称为系统。系统的能量就是整个系统的做功能力。如果系统的各部分间相互作功，而对系统外并无影响，则系统的总能量仍保持不变。于是，系统的某一部分的能量可以减少，另一部分的能量可以增加。

考虑一个由许多树木组成的密林系统，一根藤挂在中心树上，地球支持着这些树，一个孩子站在挂着藤的中心树下。这个孩子握住藤的自由端，爬上了中心树。然后他攀越过几棵树顶；而保持高度不变。

最后，这个孩子紧抓住仍挂在中心树上的这根藤而下荡，荡过了中心树，再次上升，直到他荡上了第三棵树。一位观察者眼看这个孩子从一棵树荡向另一棵树，将作出这个系统具有能量并能做功的结论。

这个系统中的必要因素是这个孩子，他通过爬树提供了系统的初始能量；这些树支持他以克服垂直向下的重力；地球的万有引力是对他做功牵引他向下的力，而由于藤的

支持,当他有足够的能量时就能克服重力而上荡。当这些因素全出现时,这个系统就有了做功的能,它有了能量。

当这个孩子握着绳摆荡时,他像摆那样运动(见:摆)。和其他摆一样,他正显示出两种能量的区别——势能和动能。

当这个孩子站在第二棵树的顶上时,他不动,但这系统具有能量,因为他的位置离开了地面。这个能量称为势能。

重力牵拉这个孩子。当他跳离第二棵树时,重力拉他下荡,他荡得越来越快,当他扫过地面时,他荡得最快。这个系统失去了势能,但从他的运动速率获得能量。这个新的能量称为动能。假如这个孩子在树根处抓取他心爱的猴子,并对猴子使力,这个猴子会和他一起上荡到树顶。当他们站在树上时,这个系统再次具有势能,但没有了动能。

如果石块从小山上滚下并触动了另一石块,于是后一石块也滚下了山,势能起了做功的作用。榔头把铁钉钉入木板,是一个动能和势能的例子。榔头相继给钉子做功,使钉子在木板内越来越深入。

如果用力压缩弹簧,受压的弹簧具有能量。在它恢复到自然长度的过程中,它能做功,它能举起一个物体。这种类型的能量称为弹性能或形变能。

能量单位和有关概念

单位制	功(W)和能量*	力(F)	距离(S)	质量(M)	加速度(a)	$W=FS=(Ma)S$
米·千克·秒	焦(耳)	牛(顿)	米	千克	米/秒^2	焦=牛·米=千克·米^2/秒^2
厘米·克·秒	尔格	达因	厘米	克	厘米/秒^2	尔格=达因·厘米=克·厘米^2/秒^2
英制	英尺-磅	磅	英尺	斯拉格	英尺/秒^2	英尺-磅=斯拉格·英尺^2/秒^2

能量是做功的能力。一个系统的能量可精确测定。
功等于作用力乘以物体在力的方向上移动的距离。$W=FS$
力等于受力物体的质量和这物体的加速度的乘积 $F=Ma$
加速度是速度的值(速率)或方向的变化快慢或兼有之。因此,物体作匀速圆周运动时,总是在加速中,因为它不断改变运动的方向。
速率是物体在单位时间内移动的距离。
速度是物体在单位时间内沿某个方向移动的距离。因此当物体以相同速率转个弯,它的速度有变动,或称转过这个弯时有加速度。
功率为单位时间内做的功。如果在一小时内以给定的功率牵引100千克的荷载,则在一小时内牵引200千克的荷载,或半小时内完成牵引100千克荷载的工作,功率将是原来的两倍。常用的功率单位是瓦(特)。
1瓦=1焦/秒,1千瓦=1 000瓦。
当功率的单位乘以时间单位时,乘积为能量单位。千瓦小时就是能量单位。

* 单位的换算:1焦=10兆尔格(10^7尔格) 1英尺-磅=1.36焦 1电子伏=1.6×10^{-12}尔格

化学能

当几种化学物质混和在一起制成火药或炸药时,一不小心就会引起爆炸。爆炸能够克服重力做功。例如把地上物块抛到空中。能够做功的化学物质的混合物,被认为具有化学能。一切能够做功的化学系统并非都如火药或炸药那样有惊人的动力,而且化学系统所具有的能量常常难以度量。

为了理解化学能,有必要去研究在化学反应中发生了什么事。这将从一切物质都是由很小的称为原子的单位构成开始。一个原子能够和其他原子键合为一个群体,称做分子。存在于地球上的一切物质——岩石、木料、空气、土壤和水——都由原子或分子构成。

例如,氧原子(O)是一种原子。一个氧气分子含有两个氧原子(O_2)。一个氧原子和两个氢原子构成一个水分子(H_2O)。一种砂分子——二氧化硅(SiO_2)——含有一个硅原子(Si)和两个氧原子。(参见:**化学**)

分子在化学反应中形成。当个别原子形成一些分子时会释放出大量能量。这类分子是很稳定的。因为它们在分解之前,上述的那些能量必须返回给它们。另外一些分子形成时只需要很少一点能量,这类原子很不稳定。它们容易反应成更稳定的分子,在这些反应中许多能量将释放出来。硝化甘油——稠密的油状液体——容易变成水、二氧化碳、氮气和氧气。这个反应是爆炸性的,因为它作用很快,也因为瞬间形成的气体体积远超过液体硝化甘油所占的。另外一些化学作用能够释放能量但非爆炸性的。它们反应得很慢,而且产生的分子所占的体积和原分子等值。

食物能是化学能的一种。植物从太阳光中吸收能量,并将它贮藏于能量富集的化学物质如葡萄糖中。这个过程称光合作用。食草动物利用这些由光合作用产生的化学物质以维持生命过程。另外一些动物吃掉食草动物,获得更富于能量的化学物质,这些物质是食草者从植物中的化学物制成的。因为食物能使生命体运动不息,它具有做功能力是一目了然的。

电能

在当代技术世界中,最重要的一类能量是电能。电流运转电动机并开动机器。电流还为节约劳力提供能量,如电搅拌器、电钻、真空除尘器和自动洗盘机。无疑地,电流具有能量。

电能是和原子的基本结构相关联的。根据现代原子理论,每个原子都有一个质量大并带正电的中心称为原子核。一个或更多个轻的带负电的电子绕着原子核转动(见:**物质**)。正的原子核和负电子互相吸引。这个吸引力使大部

分电子在核的近旁转动。但这些电子往往也受到邻近原子核的吸引。于是，一个化学键形成了。所以，就某种意义来说，全部化学能是一种特殊的微观类型的电能。

金属是由含许多电子的原子构成。由于金属原子的特殊结构，原子核没有足够力量掌握住全部电子(见：**晶体**)。一些电子多少有点儿在原子核间漂泊。这些自由电子能够扮演电流角色。(见：**固体物理学**)

分离正、负电荷必须做功，如果在某处产生了超额电子，在另一处的原子要失去一个或多个电子。发生这种情况时(如在电池中)，电能就贮存起来了。如果金属导线的一端联结到超额电子集中处(电池的负极)，而线的另一端联结到电子不足的原子的集中处(电池的正极)，线中的电子就要向这些原子流去。线中电子相继流向电池正极，电池负极中的电子就相继流向金属线。从电池的负极经过金属线流入正极的整个电子流称为电流。电子由于受到力的作用才在金属线中流过，所以做了功。

磁能和电能密切相关。电荷运动时就产生磁场。(见：**磁体和磁学**)

辐射能或电磁波

某些类型能量能穿过空间。这类能穿过真空的能量称为辐射能。它的产生或是由于电荷的加速运动，或是由于电场或磁场随时间而改变其强度。

这些电荷和场的运动干扰了空间。这些干扰引起了波，从原始的电和磁的运动处向四周传播。这些波是不断起落的电场和磁场，这两个场互相垂直。由于辐射能的波由电和磁的扰动组成，它们常被称为电磁波。

光是电磁辐射的一种形式。其他形式包括无线电波、红外波、紫外辐射、X射线和γ射线。这些形式中有的波长较光为长，有的较光为短。人的眼睛只对光有视觉。因此人眼能察觉来自太阳、恒星和太空中其他光源的光。但是人眼不能看见X射线和无线电波，虽然恒星也发射这些辐射。

有点类似盖革计数器那样特殊设备，可用来探测来自太阳或恒星的X射线。巨大的类似雷达的设备称为射电望远镜，它对无线电波(天文学界称天体发出的无线电波为射电)敏感。利用这类望远镜，科学家能够检测到来自宇宙许多部分——太阳、恒星和飘浮在外层空间的庞大的星云。

一切形式的辐射能都能够做功，虽然必须用特殊仪器测出。这些仪器一般使辐射能转变为运动电流能，例如在射电接收器中。(见：**辐射**；**光**)

核能

还有另一种封闭在原子核内的能量。原子核内含有两类粒子——质子和中子。核粒子能够贮藏能量。某些原子核能够自动重组，或失去一些粒子并辐射能量。这个过程称放射性。例如，镭核能够自动地发射含两个中子和两个质子的一个粒子群体(称为α粒子)和γ射线(电磁辐射)。它们带走了镭核贮藏的能量，镭核变为较小也较稳定的新核。

有两种人工释放核能的技术。第一种使用像铀那样有很重的原子的元素。把铀核结合在一起所需的能量要比结合两个只有铀核一半大的核所需的更多。

在原子弹和在裂变反应堆中，自由中子轰击铀原子。当一个中子击铀核，这个核分裂成两个较小的核，并释放大量能量。在这个反应中，铀核的一些中子飞出来了，并击中其他铀核，使它们也分裂为二，并释放更多的能量和中子。这过程能够继续到爆炸性程度，除非将金属棒插入铀中，俘获一些中子并延缓这个核反应。这类反应称为裂变反应，因为这反应使核裂开。

Courtesy of United States Department of Energy



1952年10月31日在埃尼威托克环礁上空的原子弹爆炸试验，它是核能的一次生动的演示——和恒星内部的活动相似。

第二种核反应更难产生也更难控制。它基于这样事实，即像氢及其同位素那样很小的原子核中，每个质子和中子所需的结合能要比较重的核稍多一些。（情况正好和铀核相反，在那里是较轻的核需要较少的结合能。）如果两个氢核能够结合成一个较重的核，就释放出能量。在太阳内部正在进行这类反应。通过较复杂一点的系列反应，四个氢核结合在一起，形成一个新的氦核，在这过程中释放出大量能量。这是太阳发射的全部能量的来源。

这类反应的温度必须很高（几百万度），这些核要有足够能量去碰撞并有将它们结合在一起的必需的力。这个反应称为热核聚变反应。“热核”涉及核反应所需要的热，而“聚变”意为反应中几个核结合在一起。

当氢弹爆炸时，发生了核聚变反应。科学家正在试验开发可控的释放核聚变能的方法。（见：**等离子体和等离子体物理学**）

热能

热能是最寻常的一种能量。严格地说，它不属于另外一种能量，因为热能是系统内单独分子动能的总和。分子的平均运动越快，系统的温度就越高。热能够做功。给液体加热，液体最终沸腾，并变为气体，气体要比液体占更大的空间。从沸腾液体中出来的气体能产生强大的力，它驱动汽轮机，为大城市供电。

热能的重要性和下述事实有关，利用能量做功的大部分场合中，部分能量以热能形态散失。例如，用榔头将钉子钉入木板，榔头的许多能量用来加热钉子、榔头的头部和木板的与钉子相接触的一部分。只有全部能量中的一小部分真正推动钉子进入木板。

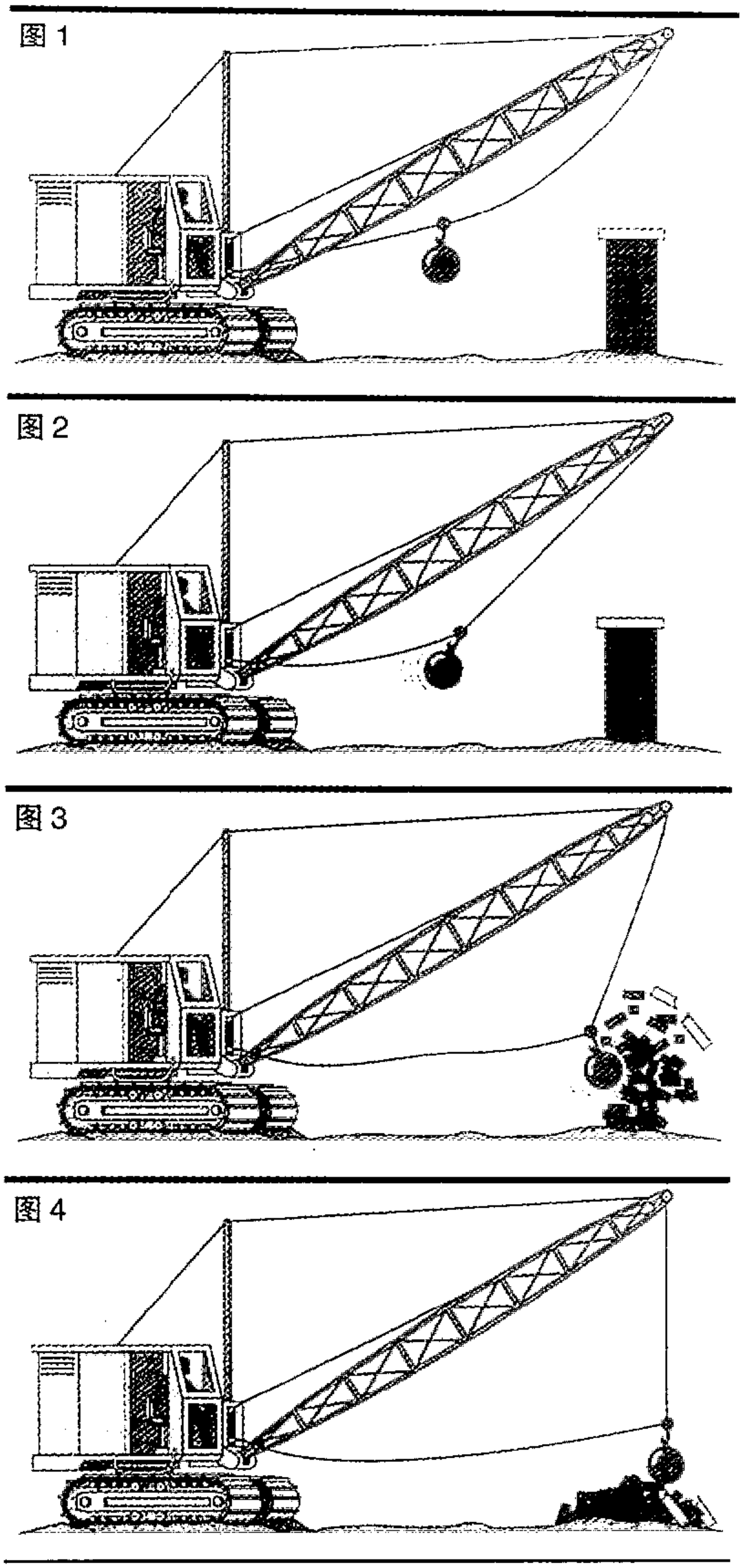
在汽车发动机中有同样情况。如果汽油和空气爆燃中所释放的化学能全部转变为活塞的动能，发动机就会有高得多的效率。相反地，许多化学能变为热能，而热能无助于驱动汽车。

动能和势能

把一切形式的能量简单地视为多种原子或核粒子的动能和势能，这是可能的。例如，伸长的弹簧所具有的能量，常被称为弹性能。这是一种有用而且正确考虑弹簧能量的方法。

然而，一种更微观的观点也是正确的。弹簧是由原子构成的，原子含有原子核和电子。原子核和电子以电力相互作用。拉伸弹簧所做的功是用来克服把原子紧密结合一起的电力。拉伸弹簧的能量性质，按这个观点，与其认为是弹性的不如认为是电力的。它是势能，因为它的存在是由于粒子间的相对位置，而并非由于它们的速率。一经松手，弹簧内的各个分子间的相互电引力，使它们拉得更靠紧一些，于是弹簧就猛然收缩。原子间的势能变为原子的动能，使原子更靠近。

铀核的能量也是势能，因为它是由于核内粒子存在的情况产生的。而并非由于这些粒子的速率。当一个中子撞击一个铀核时，铀核的许多势能转变为新形成的核和发射出来的过剩中子的动能，以及 γ 射线的辐射能。



利用能量做功

将金属球牵引到一边（图 1），产生了势能（位能）。放开这个球，它开始摆动，而将势能转变为动能（运动的能量）。摆动着的球（图 2）将全部能量转变为动能，但它仍未出力。它对其他物质不产生任何影响（除了微不足道的对空气和摆绳的作用）。这个球给墙以作用力（图 3）。动能正用来做功，移动了物质并使墙的砖和石的化学结合键断裂。所做的功（图 4）显示于墙的破坏量和产生在物质本身上的效应。静挂着的球，准备接纳新的势能进行另一个撞击。

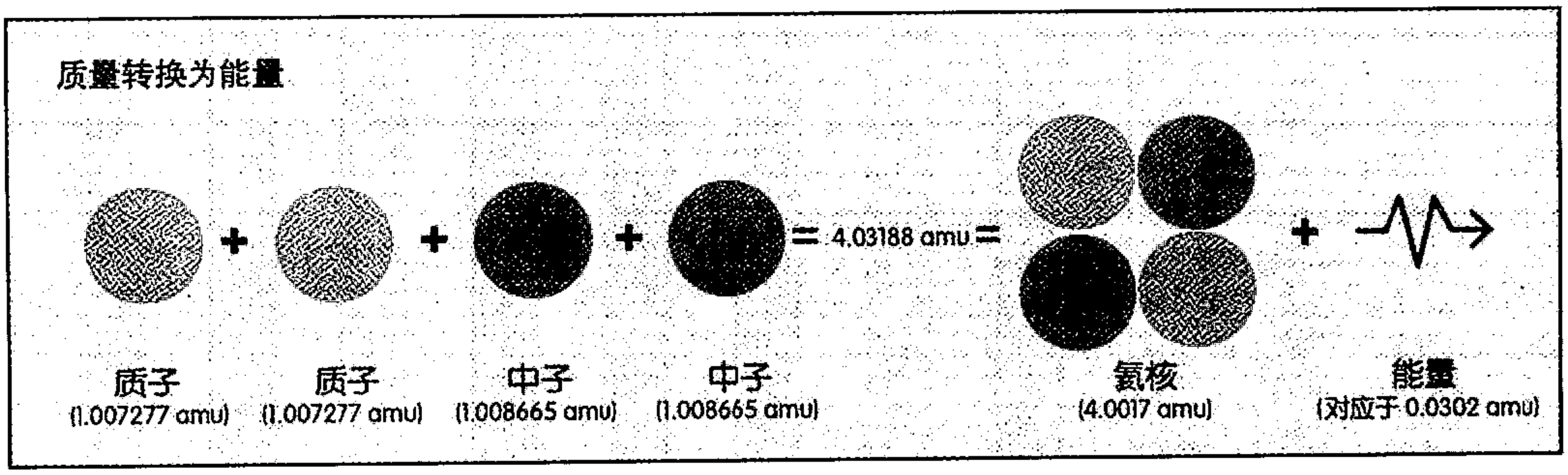
物质能

几百年来科学家认为物质和能量是完全不同的。但在20世纪初A.爱因斯坦断言质量和能量是密切相关的。质量能转变为能量，能量能转变为质量，爱因斯坦以他的著名公式 $E=mc^2$ 定量地表述了质量和能量的对应关系。式中E为能量，m为质量，c为光速。质量的变动可由 $m=\frac{E}{c^2}$ 这个公式给出。因为 c^2 是个很大的量，E必须很大，m才能被探测到。这个公式已经由实验证实。（参见：**爱因斯坦；相对论**）

化学反应和核反应都涉及能量变换和相联系的质量变换。这两个反应都涉及两个实体形成两个新实体的反应。在化学反应中，这两个实体是原子或分子。在核反应中，它们是原子核。在这两种情况下，反应可最终导致质量的减少，减少的质量转变成能量，通常以两个新实体的动能形式出现。

在化学反应中，每个粒子所获得的能量达到10eV（电子伏）。这对应于每个粒子约损失 10^{-31} 克的质量，一个极小的量。如果12克碳参与反应，质量损失只是 10^{-8} 克，一个小到不能观察到的数量，因此，在化学反应中质量转变为能量，是不受化学家注意的。

在核反应中，每个粒子产生的能量常常大于1MeV（百万电子伏）。其质量的损失约是化学反应中所损失的100万倍，这是容易观察到的。核物理学家在研究核反应时，经常考虑到物质和能量的转换。然而，质量损失在化学反应和核反应间的区别，仅仅是数量级的不同。这两类反应的本原是相同的：一定数量的质量转换为能量。



两个质子和两个中子的质量的和是4.03188 amu（原子质量单位）。当它们结合成为一个氦核时，它们的质量减少了0.0302 amu。减少的部分转换成能量。氦核是很稳定的。

能量形式的转变

能量的一个最有用的事实，是它能够从一种形式转变为另一种形式。这种转变是始终存在的。大部分机器是用来将能量从一种形式转变为另一种形式。甚至在日常活动中，能量也在转变形式。人们利用贮藏在肌肉组织中的化学能把门推开。化学能转变为肌肉纤维的弹性能。肌肉的弹性能推动了门，并转变为门的机械能，使它转动。如果门碰到墙壁，它的一部分能量转变为声能。

经过几个世纪的科学观察，科学家都注意到能量似乎遵循某种始终如一的途径起作用。在它的表现中存在一种规律性，没有观察到违背这个规律的例外情况。这个规律性表述为能量守恒定律。这个定律断言，一个孤立系统的总能量是不会改变的。系统的能量能够重新分配，或者能够从一种形式转换到另一种形式，但总能量保持不变。当系统并不孤立时，则外界的力能够对该系统做功。在这类情况下，系统总能量的任一变动，必须和外界的力对它所做的功严格等值。

能量守恒定律是出了名的，因为它表述：一切过程中有某个数值始终不变。它不管过程为什么产生和怎样产生。它仅仅说，在能量形式的无休止的转变中，能量本身既不可能在某处诞生，也不可能在某处消失。能量守恒定律似乎是真正的普遍定律之一，因为一切生命的和非生命的变化都遵循这条规律。不论能量形式千变万化，科学家都能够确定一种形式的能量和另一种形式的能量间存在严格的等效关系。

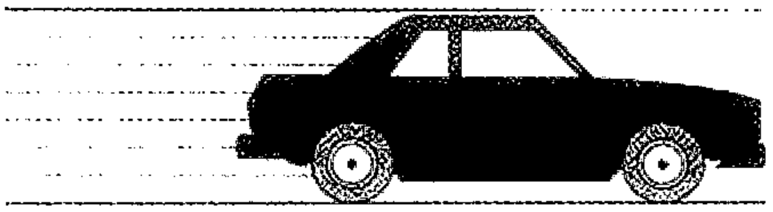
能量守恒定律所以著名，是由于物理学家测定的大部分量并无必要守恒。速度、加速度、温度和原子、分子等的化学单元并非总是守恒的。然而，系统的物质的数量和能量的数量一样，也是守恒的，除非一些物质转变为能量，或者一些能量转变为物质。考虑了这类变化，则能量守恒定律要和质量守恒定律结合，形成质量-能量守恒的延伸定律。（见：**物质**）

只有机械力起作用的体系提供了能量守恒的最简单的例子。一个摆动中的摆，例如林中小孩牵着藤摆动，动能和势能就连续地互相交换。在摆到顶端时，速度是零，能量纯粹是势能。在摆到最低处时，能量是纯动能。在中间的一些位置，能量的部分是动能，部分是势能。然而，动能和势能的和，是始终不变的。

事实上，极少极少的例子属于纯力学系统。摆不能永远地摆动下去。过了一些时候，它摆动得小了一些，最终它停摆了。这是由于在摩擦力的作用下，摆的机械能转变为热能。当两贴近物体相对运动时，摩擦力也使能量转变为热。

摆的运动被一些摩擦力所阻滞，如当它通过空气时的空气阻力和与它的挂钩间的摩擦。摆的能量就转移给它

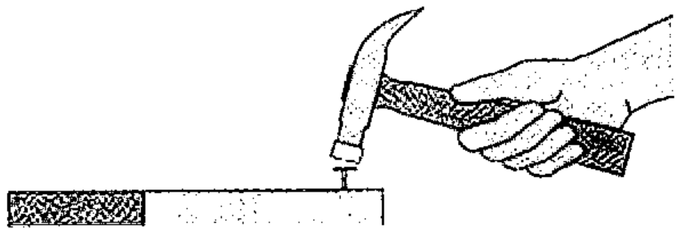
能量形式的转变



汽车发动机将化学能转变为机械能和热能。



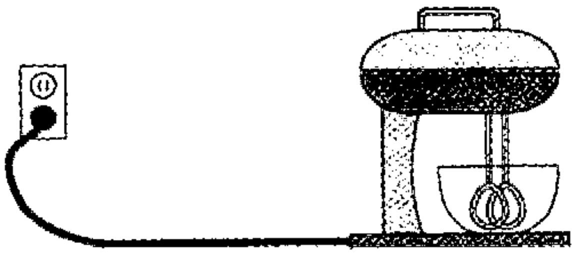
树木将辐射能转变为化学能。



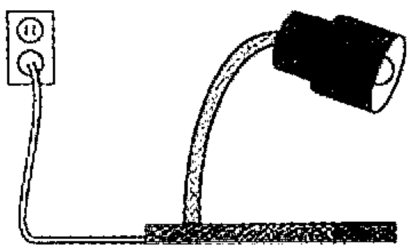
槌击打钉子使机械能转变为热能。



热核反应使核能转变为辐射能和热能。



电搅拌器使电能转变为机械能和热能。



电灯使电能转变为辐射能和热能。

通过的空气和挂钩的分子。它们的动能和弹性能增加了。空气和挂钩的温度增加了。机械能就转变为热能。

在大部分机械运动中，摩擦力都起了作用。它们可能将系统的机械能的一部分或全部转变为热能。相当数量的热产生了。例如，把钉子钉入墙内，榔头所做的功成为墙的形变能（钉子钉入过程改变墙的外形）和大量的热。钉子和榔头的头部都变热了。

热力学诸定律

在19世纪早期，工业革命大跨步前进。当时许多新发明的机器，是靠燃烧燃料提供的能量来驱动的。这些机器将大量信息提供给科学家，包括热如何能够转换为其他形式的能量，其他形式的能量如何能够转换为热，热又如何能够做功。这一些观察浓集于热力学诸定律中。（热力学是物理学的一个分支，它研究热和机械能的相互转换。）

热力学第一定律——能量守恒定律的数学表述——宣称加给一个系统的热量严格地等于系统能量的变化加上系统所做的功的全部。由热力学第一定律推出的公式描述了三个变量：系统的内能，加给系统的热能和系统对它的周围物体所做的功。

热力学第一定律的实用上的重要性是，它宣示了给系统加热能使它做功。从能量的定义来看，这意味着热是能量的一种。第一定律提出后，许多人感到很难接受它，因为他们不相信热是能量的一种。他们认为热是一种神秘的流体。但是第一定律描述了热机的动作和热的许多相互作用，所以该定律终于被认为是正确的。

第一定律宣称宇宙的总能量保持不变。它没有说哪种的能量能够转变为那些其他种类的能量。在多次错误的起步之后，建立了热力学第二定律，它描述了哪一类的能量转换是有可能的。这个定律表述了任何系统的状况都趋于转变到最无序的情况。（系统的无序量称为熵。）强使系统更为有序或减少它的熵。就必须从系统外对它做功。

热力学第二定律似乎难以理解，但它阐述了许多日常经验。例如，当一个人踢下所穿的靴子时，它们不落在内室中原来安放位置的可能性要远比落于原位为大。要使它们归回到原位，就必须做功。他必须捡起这双靴，把它们带到内室，并把它们放回原来的位置。

热是最无序的一种能量。因此，按照第二定律只有一部分热能够用来做有用的功，热机能够将提供给它的热的一部分而并非全部转变为机械能。剩余的热回到温度较低的环境中，不管这些热是否需要或受欢迎。

另一方面，机械能能够全部转化为热。这是很有意义的不对称。在上述两种转换中，能量的总量是守恒的。但是热力学第二定律描述了发生能量转换的方向性的限制。

汽车发动机将汽油的化学能转换为热能，热能使气体膨胀，并推动活塞，从而将部分热能转换成机械能。然而许多热能仅仅是使热机升温。活塞的机械能传递到轮胎，轮胎推路面，而使车向前运动。但由于摩擦轮胎的机械能的一部分转换为热能。在这个和其他牵涉热能转换为机械能的全部过程中，原来热能的很大部分仍停留在热能状态。

为了阐明热力学第二定律和第一定律的不同点，可考虑用喷灯加热锅中的水。热力学第一定律完全允许水结冰而喷灯的火焰变得更热，而全部能量仍维持不变。热力学第二定律则认为这个过程是不可能的。过程中热的传递方向必须是从较热物体到较冷物体。出现在可观察的宇宙中的全部过程，它们的普遍方向是使熵增加。

热力学第三定律和称为绝对零度的温度有关。绝对零度出现于$-273^{\circ}C$。在绝对零度，一切物质将有理论上可能最低的能量数值，一些物质的熵将为零（即完全有序）。第三定律认为，绝对零度可以越来越趋近，但不可能真正达到它。（见：低温学）

能量和现代物理学

20世纪早期，量子理论的发展完全改变了能量的概念。量子理论对20世纪物理学的重要性与相对论相当。量子理论表述了能量并不遍及无限可分的范围，而只在称为量子的某些明确的、特定的数值上。因此，给定数值的电

磁能不能够分割为小而又小的能量数值。存在最小的能量值，或称量子，这个量就不能够再分割了。

通过经典物理学和现代量子物理学分别处理光波的途径，可以阐明上述观点。按照经典理论，光波的能量通过降低振动的振幅，要多小就多小。按照现代量子理论，一定频率的光波的能量是和频率相对应的量子的整数倍。光波的最小能量出现在只有一个量子存在时。

在量子物理学中，给定颜色的一束光是由非常多的量子组成。然而，在光束中分辨出个别光量子来是不可能的。正如在液体中不可能观测到个别分子。这两种情况下，数目非常多的很小实体表现为完整的、连续的外貌。（参见：**光；物质**）

太阳能 SOLAR ENERGY

地球上的所有生命都依赖来自太阳的能量。太阳能是光合作用的能源。它提供动植物生存所必需的温暖。来自太阳的热量引起地球表面上的水蒸发而形成云，最终提供淡的雨水。

太阳能是太阳内部深处的热核聚变反应的结果。这些反应产生大量的能量，以致保持太阳的表面温度为 5 700°C 左右。虽然太阳能是地球所接受的最大能源，但是它在地球表面的强度实际很弱，其原因在于地球与太阳之间的距离很远和地球大气吸收和分散其一部分辐射。即使在晴天太阳当头照时，其到达地球表面的能量也被大气减少了约 30%。当太阳接近地平线并且天空多云时，地平面的太阳能可以忽略不计。太阳能在地球表面上也是各地互不相同。

然而，到了 20 世纪太阳的能量成为越来越有吸引力的小量直接动力的一种来源，以适应人们的需要。已开发出多种收集太阳能并把它转化为电能的装置。太阳能可用于房屋取暖，在许多国家，已使用专门设计的太阳灶来做饭。太阳还向那些为气象和通信卫星、无线电和电视装置提供动力的发电机提供能量。

收集和转化

因为地球表面上的太阳辐射强度很低，所以，设计用来捕集太阳能的收集器必须很大。例如，在大陆性美国阳光最充足的地区，为了使一个收集器收集足够一个人一天所用的能量，收集器的表面积必须为 40 米^2 左右。实际可用的能量取决于收集器和将辐射转化为可用能量的装置的效率。

平板型收集器 最常见的平板型收集器包括一块黑色的吸热金属板，上面覆盖一两块玻璃板。热量传递给沿着金属板背面流过的空气或水，称为载热流体。这些热量可直接利用或传递给另一介质。平板型收集器用于家庭和加热热水。平板型收集器通常对载热流体加热的温度范围从 66°C 到 93°C。这种收集器的效率变动范围为 20%-80%。

集中式收集器 需要高温时，采用集中式收集器。这种收集器反射并集中来自广大面积的阳光。有一座称为太阳炉的这种装置，建于法国比利牛斯，拥有上万平方米面积的反射镜，聚焦在一个目标上。集中在目标上的能量是任何单一反射镜所接受能量的 3 000 倍，该装置可产生高达 2 000°C的温度。加利福尼亚州巴斯托附近有另一种结构，称为"动力塔"，可发电 10 000 千瓦。它的太阳炉像锅炉一样工作，并产生蒸汽，供一座涡轮发电机发电厂使用。

在复杂的集中式收集器，例如加利福尼亚的动力塔中，各反射镜靠一台定日镜来转动，后者使来自反射镜的太阳光线对准目标。电动机、驱动装置和控制器等的安装，使这种系统很昂贵。价格较低的集中式收集器可产生的温度低于更先进的集中式收集器，但高于平板型收集器。例如，将日光集中于黑色管子上的抛物面反射镜，可产生约 200°C - 290°C的流体温度，并将太阳能集中到原强度的 50 倍。

光电池 在上述集中式收集器中，由太阳能通过蒸汽发电厂来发电，在该厂中锅炉通过吸收集中的太阳辐射，而不是燃烧矿物燃料来取得能量。但是，还有一种直接将太阳能转化为电能的方法——利用光电池或称太阳电池。这种电池只要受到日照，便能产生电压。虽然光电池很可靠，但是它们的效率很低——不到 11%。因此，必须将它们联合成大的列阵，才能产生足够实用的电能。大型的光电池板已用于供给轨道卫星动力，但是，光电池在地面上的应用仅限于主要提供钟表、计算器和照相机用电。

储存

太阳能的收集是变动的，并且不一定符合能量需求的变化。因此，必须有某些储能形式来储存太阳能，以备在阳光很少或没有时使用。来自光电池的电力可储存于蓄电池中。在利用收集的能量来加热流体的系统中，该流体可直接储存于绝热的储槽中，或者可将能量传递给另一种储存介质，例如岩石床。

潜力

太阳能的潜力庞大。地球每天接受的太阳能约为全世界发电能力的 200 000 倍。虽然太阳能本身是免费的，但是其收集、转化和储存的昂贵费用限制了太阳能的开发。然而，研究人员正在多种条件下进行太阳能试验。

有一种为来日提出的方案：利用卫星太阳能动力站来向地球供给动力。在此方案中，装备有大型太阳电池板的卫星将不断地越过大气干扰来收集太阳能。这种电能将被转变为微波，然后发射到地球上，在此再将微波能转化为电能而进行分配。

核能 NUCLEAR ENERGY

当原子核分裂（裂变）或结合（聚变）时产生的能量。一个重原子核分裂成为两个或多个较轻的原子核称为裂变。两个轻原子核结合成为一个较重的原子核称为聚变。由核裂变或聚变释放出来的能量，以热、光和其他辐射形式出现，称为核能。和其他来源的能量一样，核能能够用来做功。（参见：**能量**）

质量和原子序数

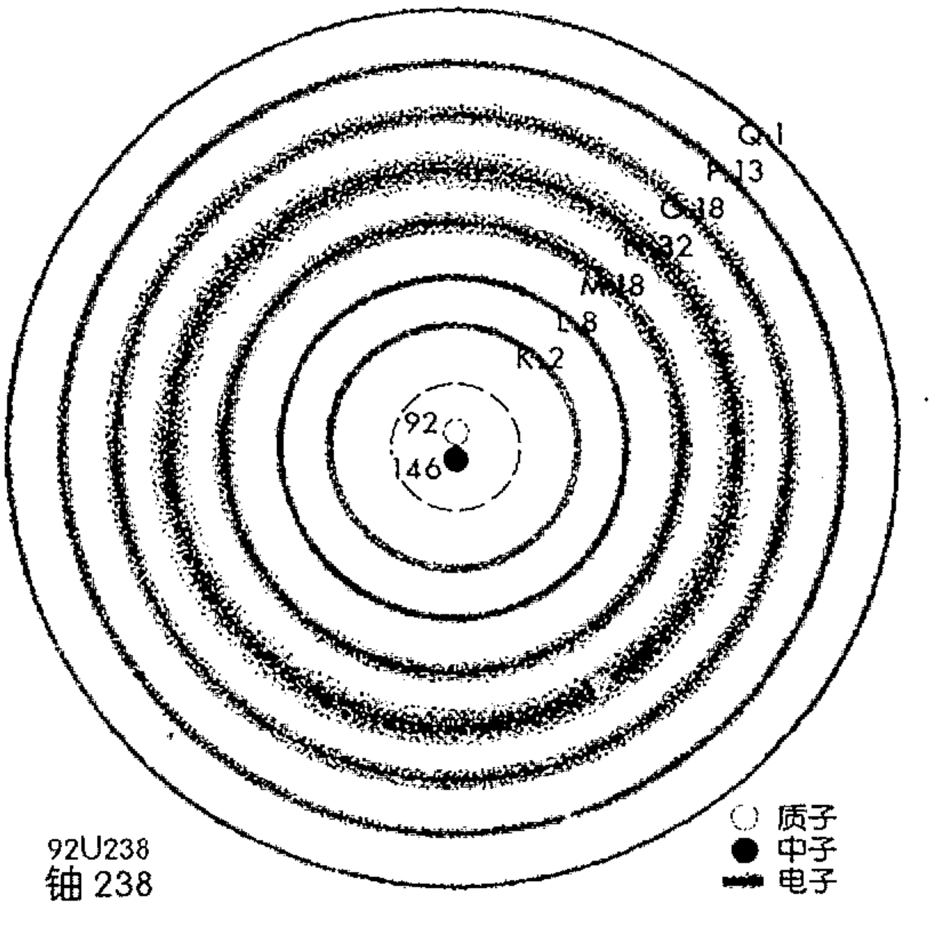
在物理学的许多实验中，整个原子核的质量是重要的。原子是由它的质子数和中子数来识别的。这两个数的总和称为质量数。然而，中子在化学中是不重要的。对化学家来说，只有质子部分是重要的，它们掌握住电子。因此，在

化学中普遍以原子核内的质子数来识别原子。这个数就是元素的原子序数。

原子粒子的物理性质			
名称符号	质量（克）	质量（原子质量单位*）	电荷
电子 e	9.110×10^{-28}	0.00055	－1
质子 p^+	1.673×10^{-24}	1.00728	＋1
中子 n^0	1.675×10^{-24}	1.00867	0

* 原子质量单位(amu)用于量度极小的粒子，1 amu＝1.660×10^{-24}克

用原子序数识别原子的另一理由是同位素的存在。每一种原子(包括氢)在其原子核内都有不同数目的中子，构成了这个元素的同位素。这些同位素用质量数来区别，但元素仍由原子序数来识别。



图示铀核的模型，铀核的电子排列在轨道上称为壳层。轨道上的英文字母表示壳层名称，并给出壳层上的电子数目。位于中心的原子核的成分也已标出。

以上的铀原子图显示了这些区别因素。铀元素名用化学称号 U 和原子序数 92 来识别。它的具有 146 个中子的同位素用质量数 238 来显示。以上的表和图给出了元素的原子序数和同位素的质量数。

化学中的原子量

在原子的结构被认识之前，化学家和其他科学家建立一个原子量体系以辨认不同元素的原子。对化学家来说，知道各种原子的相对重量就足够了，第一个也是最轻的元素氢的任意量被规定为 1。原子数目相同的其他元素和氢相比较，得到了一张相对原子量的表。(见：**化学**)

由于存在同位素，这些量并非单个原子的真正的相对重量。在自然界中，每个元素的不同同位素有一定的存在比例。它们的不同处只是质量数。元素的原子量是元素的同位素的混合体的平均质量。氢元素就是一个好例子。

正常的氢原子是不含中子的，它的自然丰度为 99.985%；含有一个中子的氢原子(同位素氘的原子)的丰度约为 0.015%。同位素氚含有两个中子，存量极小，可以不计。这两个主要同位素的质量以原子质量单位表示，分别为1.0078252和 2.0141022。考虑了相对丰度，从这两个量得出氢原子的平均原子量为 1.00797。

质子和中子怎样转变

当原子核中的质子数和中子数的比例合适时，原子核没有转变的趋势，原子保持它的化学性质。它被称为稳定的。

元素的原子比铅和铋(原子序数为 82 和 83)为重时，是放射性元素，因为它们的原子核是不稳定的。由于核粒子的轰击，一些轻元素的原子如碳也能够变为不稳定的。例如，碳有两个稳定的同位素，有六个质子和六或七个中子($_6C^{12}$和$_6C^{13}$)。不稳定的碳 14($_6C^{14}$)能够由轰击产生，或是自然界中的宇宙线，或用高功率的实验设备。

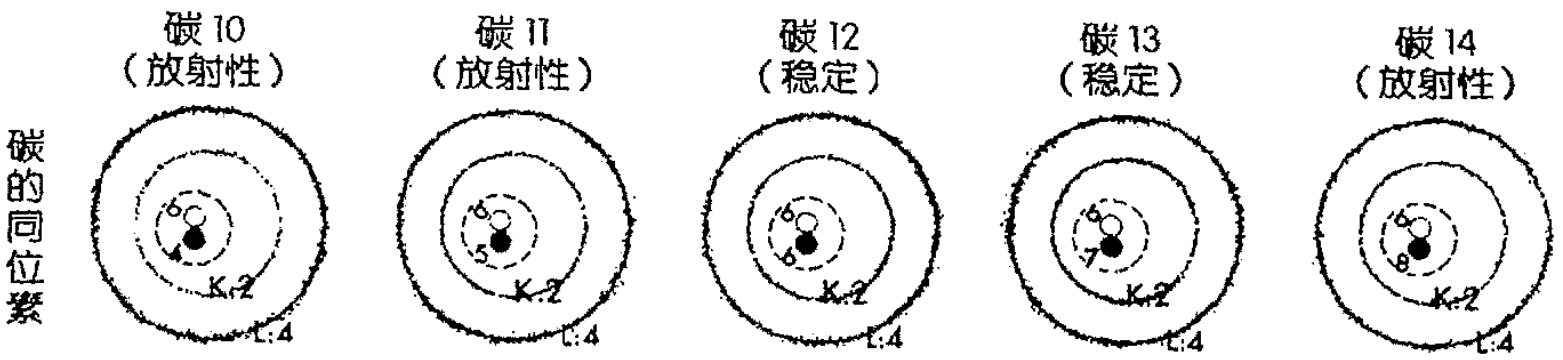
然而碳 14 的原子核不能无限期地紧抓住第二个超额中子。排出一个电子就能得到更为正常的中子-质子平衡。这个电子的电荷明显地来自一个中子转变成一个质子。这样，碳 14 就转变为氮的同位素($_6C^{14}$ 变为$_7N^{14}$)。新原子的原子序数从 6 转变到 7。质量数(14)不变，因为少了一个中子由增加一个质子所平衡。

如果轰击从正常碳原子中逐出一个或两个中子，引起相反的变化，使碳的质量数为 11 或 10。留下的六个中子只能在几分或几秒内抓住全部六个质子。然而这个原子核并不排出质子。它排出一个称为正电子的粒子。正电子的质量和电子相同，但具有一个正电荷。这电荷似乎来自质子到中子的转变。正电子的排出使碳 11 和碳 10 转变为硼的同位素($_5B^{11}$和$_5B^{10}$)。

电子壳层和化学活性

原子的较外层电子和其他原子的较外层电子结合成对，就使原子进入化学反应。在较重的原子中，大部分电子的排列使它们牢固地结合在原子中。它们不能进入化学反应。电子将它们自己排列成环绕原子核的一系列壳层。每个壳层中的电子趋于互相推斥，但它们在壳层内配对，部分地克服了它们间的斥力。

最简单的例子是氦原子。它有两个质子和两个中子组成的核($_2He^4$)，一对电子环绕这个核。全部原子力被完全满足，使氦原子在自然界的原子中是结合得最强的。氦原子不能形成两原子的分子，并且没有显示出一点化学活性(见：氦)。一切较重的原子都有像氦那样环绕核的一对电子，而增加的电子环绕在这对电子外面。这些增加的电子能和其他原子的电子成对，直到这个壳层有了四对电子。这就再次满足了全部原子力，这个原子(氖)在化学上是惰性的。再增加的一些壳层有更复杂的电子排列。



质子	6	6	6	6	6
原子序数	6	6	6	6	6
中子	4	5	6	7	8
质量数	10	11	12	13	14
电子	6	6	6	6	6

自然界中碳元素的几乎99%是碳12。其余几乎全是碳13。放射性碳14的衰变率低,半衰期为5 730年。其他放射性碳元素在几分钟或几秒钟内衰变为硼元素。

电子构型和化学活性可用分光镜研究光或用X射线研究固体物质的结晶来揭示。运用X射线的科学家以字母K开始命名这些壳层,避免与其他系统的命名混淆。由于化学性质是从原子的较外层电子引起的,这些电子随着不同壳层的建立而改变。在化学中使用的周期表大致对应于这些壳层。表中的主周期准确地终止在原子的较外壳层上有四双成对电子。(见:**周期表**)

常见元素的物理和化学性质

元素	符号	原子序数(质子总数)	电子总数	电子排列 K-L-M-N-O-P-Q	稳定同位素的质量数	原子量
氢	H	1	1	1	1;2	1.00797
氦	He	2	2	2	4;3	4.0026
锂	Li	3	3	2-1	7;6	6.941
碳	C	6	6	2-4	12;13	12.01115
氧	O	8	8	2-6	16;17;18	15.9994
氖	Ne	10	10	2-8	20;21;22;	20.183
铬	Cr	24	24	2-8-13-1	52;53;50;54	51.996
钡	Ba	56	56	2-8-18-18-8-2	138;137;136; 135;134;130	137.34
铅	Pb	82	82	2-8-18-32-18-4	208;207;206;204	207.19
铀	U	92	92	2-8-18-32-18-13-1	238;235;234;239	238.03

即使原子结构的图样改变了,原子的某些基本性质仍保持不变。质子数总是等于电子的数目。表内同位素的质量数是按丰度递减的次序排列的。

原子内部的能量

在前面铀核的模型图中将电子在它们的壳层中的运转轨道都用圆表示。实际上它们的轨迹是远为复杂的图样。大部分原子的电子结构知识,来自对原子发射的光和X射线的研究。当原子受到高温的激发就辐射光。这个辐射由

一定波长的谱线组成。这个独一的谱线组合称为元素的线光谱。对它能够记录和测量。

约从1880年开始，就仔细分析了元素的线谱。1900年，M.普朗克提出量子理论，1905年，A.爱因斯坦又做了补充。N.玻尔应用这个理论并根据氢原子的电子结构阐释了氢光谱。

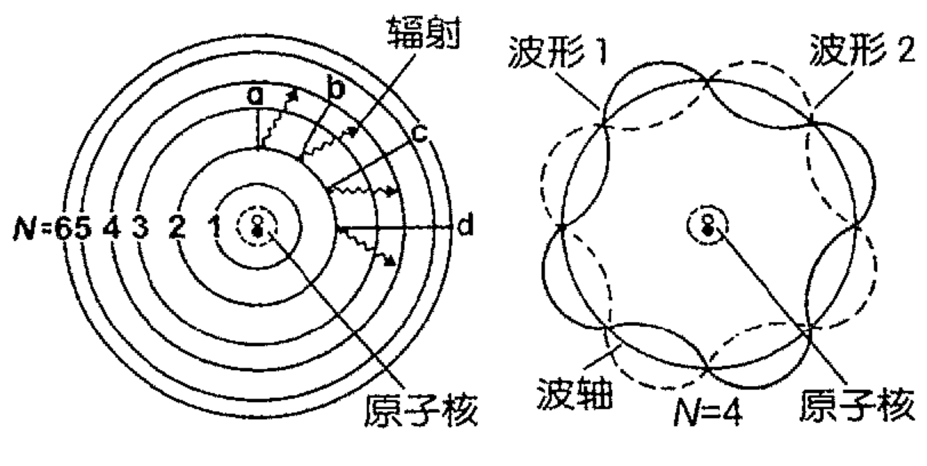
玻尔的氢原子模型

选择氢原子作研究对象，是由于它具有最简单的原子结构。当单个电子绕着原子核转动时，由于不同电荷间的静电力，它受到原子核的吸引。它也受到一个离心力的作用，推它离开原子核。当这两个力平衡时，电子在最稳定的轨道上运动。这个最稳定的状态称为原子的基态或正常态。它表示原子的可能的最低能量的情况。并假设在这状态，电子可绕核旋转而不辐射能量。

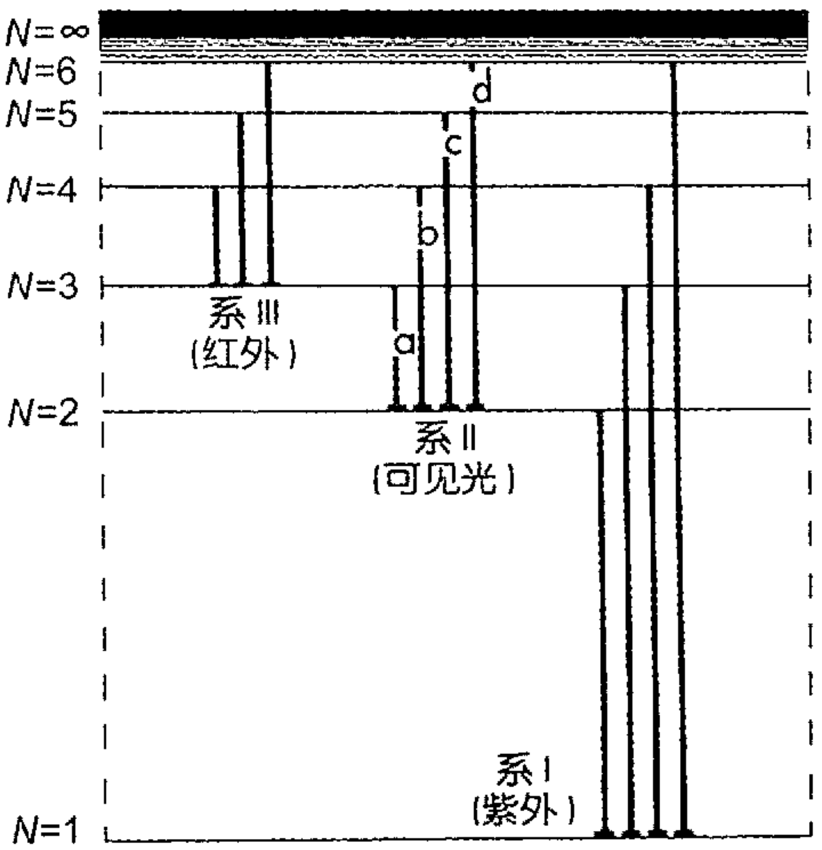
氢原子只存在几个能量状态。如果它从外部能源吸纳了更多能量，于是，可认为它处于受激状态。和基态相比，受激态较不稳定并具有更多能量。逆反应也发生了。当处于受激态的原子跃迁到基态，以辐射形式释放出能量。交换能量的受激态只有几个。发射或吸收能量以称为“量子”的特定量出现。一个量子是能量的特定数量。每一次能量交换必须是至少一个能量量子或一个量子的整数倍。如果提供给交换的能量小于一个量子，交换就不能够发生。

能级图

上述能量交换的物理描述可用能级图表示。如果原子吸收了能量，电子就跃迁到较外层的轨道，原子就处于受激态。如果原子辐射能量，电子就落入更稳定、更靠近原子核的轨道。这个图像可以用多条代表不同能级（或状态）的水平线构成。光的发射伴随着电子从一个能级落到另一个能级，在图中可以在相应的两能级间引一根线表示。当电子从较外层轨道落入较内层轨道，原子就发射光。发出的光的能量等于电子下落时失去的能量。这个光可以是紫外的，可见的或红外的。在可见光的范围内，它以一系列谱线出现。

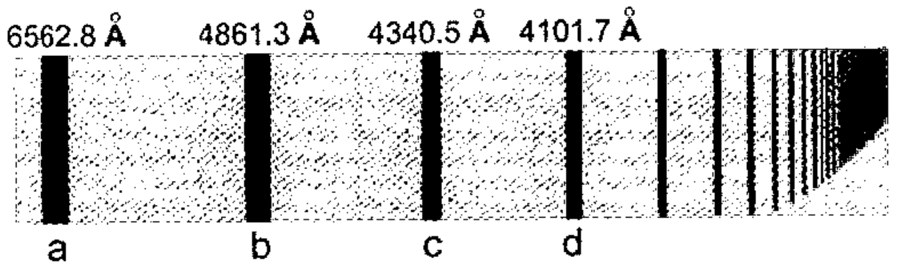


玻尔理论认为电子是占据某个能级的质点（左图）。波动力学认为电子只是原子内以某种图样往复扰动的波。这个波动图样和能级严格对应。



氢原子能级图

N＝1是原子的基态。N的全部其他值表示多种受激态。当电子循a、b、c、d途径下落，原子就发射可见光。



氢原子的线光谱

当电子从能级图上相应途径下落时，原子发出的可见光的波长（以埃为单位），用线a、b、c、d表示。

波动力学和量子力学理论修正了玻尔理论以说明电子的粒子和波动的二象性。

原子核

原子核由特定数目的质子和中子组成，它们统称核子。原子核的质量略小于它的质子和中子的质量和。这个差别被称为质量亏损。和它有关的等价能量称为结合能。这个关系基于爱因斯坦的质能等价公式，即 $E=mc^2$，式中 E 为能量，m 为质量，而 c 为光速。它表示能量能够转变为质量，而质量能够转变为能量。原子质量单位（amu）对应于数十亿称为电子伏的能量单位。质量-能量计算中通常用兆电子伏（MeV）作单位。对应值为 1amu＝931MeV

对不同元素来说，原子核中均分给每个核子的质量亏损或结合能是不同的。对轻元素如氘（重氢）有最小值。氘核的质量要比构成它的成员（一个质子和一个中子）的质量和少 2MeV。对于较重元素，核子的平均质量亏损随原子序数增加而增到极大值然后下降。因此，例如铀-235

(U-235)那样的重核分裂成为较轻核的碎片,这些碎片的质量亏损之和,要比铀-235核的亏损为大。这个差别就是裂变中释放出来的能量。在聚变过程中,两个轻核结合成一个较重的核,也释放大量能量。后者的质量也小于原来两核的质量和。

核粒子的研究

研究核粒子性质的最早的方法,涉及宇宙线撞击大气中原子核时核粒子的径迹。宇宙线是粒子流,这些粒子通常带正电,以极高速率行进。将灵敏的感光乳胶置于地球表面的高处或用气球带到较高层的大气,宇宙线穿过乳胶并击碎乳胶里的原子核。在粒子的行程中,沿着电离的途径上的一系列点,他们产生了银粒。摄下了径迹,并用显微镜检测。

核粒子的径迹也可用威尔逊云室和盖革计数器来研究(见:辐射)。一个新的特为记录高能粒子径迹而设计的仪器叫做液态氢气泡室。它的成功的运作基于下列事实:如果液体在受压下加热到超过它的在大气压强下的沸点,降低压强,它并不沸腾,除非有能够形成气泡的核心。带电粒子能起这样的核心作用。因此,如果一个快粒子穿过这过热的液体,沿径迹的液体开始沸腾。可摄下径迹并进行研究。

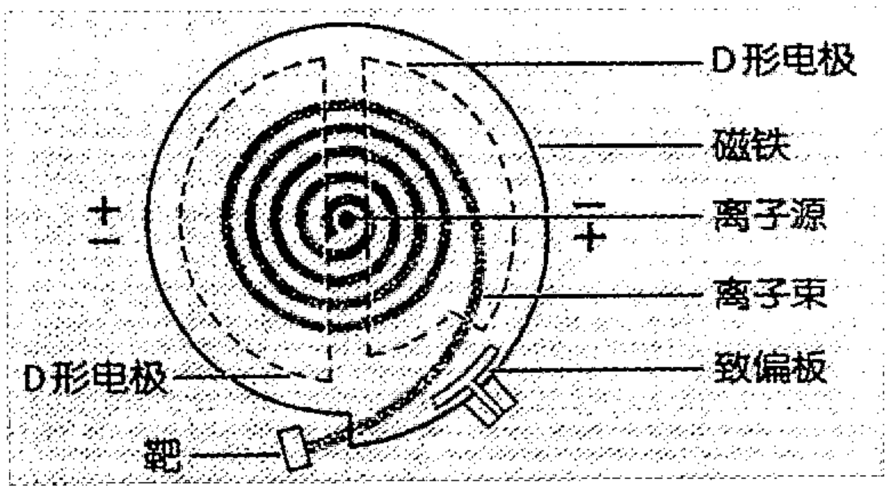
粒子加速器(原子击破器)

粒子加速器是利用电磁相互作用,在高真空中加速带电粒子的设备。当粒子达到高速度时,它们用来撞击固定的金属靶,或在称为对撞机的设备中,和一束向相反方向前进的粒子束对撞。

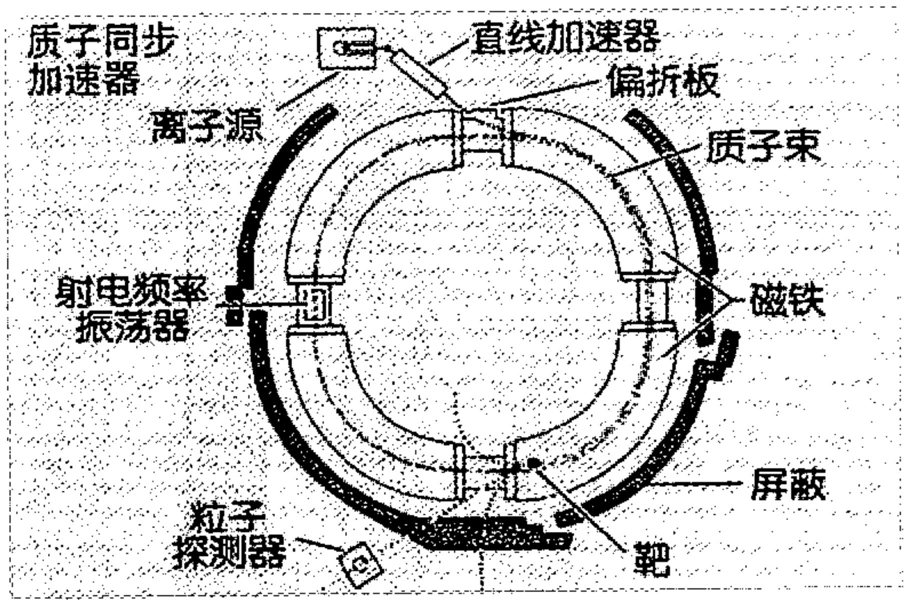
加速器的主要目的是引起粒子的碰撞。在高速下碰撞时,常常形成新粒子和发现新现象。这有助于说明基本粒子的性质及它们的相互作用。

回旋加速器是最早的加速器,在这种加速器中,磁场用来使粒子(例如质子)在器内转动,交变电场给粒子加速,粒子就循螺线运动。回旋加速器只能将粒子能量提高到几百MeV。当粒子速度接近光速时,他们的相对论性质量增加了。而交变电场不再和粒子同步。在同步回旋加速器、专门化回旋加速器中,交变电场的频率与粒子的运动同步变动。这些设备能使粒子的能量级接近1吉电子伏(GeV)(1GeV=1 000MeV=10^9 eV)。

20世纪40年代后期,加速器进入第二阶段,研制了同步加速器。在这样的加速器中,当电场的频率增大时,磁场相应增强,维持带电的质子在近似圆形的轨道上运动。粒子被提前加速,然后注入加速器内。同步加速器的运作可以和一个人重复地用球拍打球相比拟,这个球被细绳系在支柱上,所以它只能绕支柱旋转。这个细绳代表磁场,它控制住这个粒子在近似圆形轨道上运动。球拍对应于加速电场。当粒子的速率和能量增加时,磁场和电场的频率也增加,这类似当球加速旋转时,打球的频率也增加。



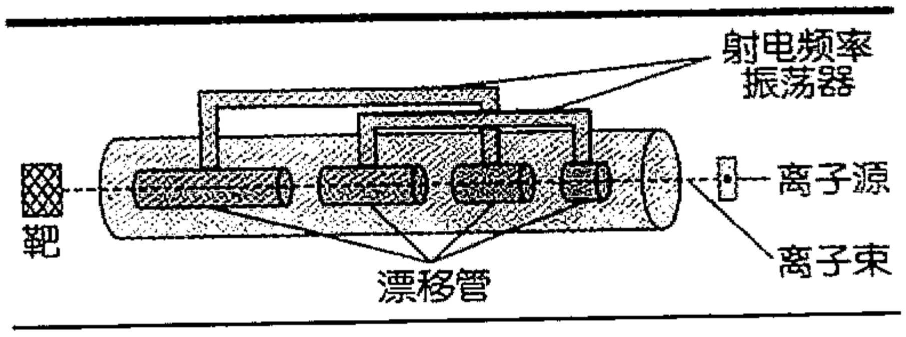
在回旋加速器中,离子在撞击靶板前将在磁场和D形电极板交变电荷作用下,循螺线运动。



质子束从直线加速器受到初始推动。然后质子束被一个偏折板引入质子同步加速器,进一步加速。

最新的粒子加速器是交变陡度同步加速器(AGS)。在这类加速器中,沿水平和垂直方向上有变动的磁场交替地作用于粒子束,阻止这些粒子偏离轨道。这使粒子束焦聚,从而克服较早的加速器所遇到的严重问题。一些高能AGS设备的地点和能量级如下:

布鲁克海文国家实验室	纽约州的阿普顿	33GeV
谢尔普霍夫高能物理研究室	俄罗斯的莫斯科附近	76GeV
欧洲原子核研究中心(CERN)	瑞士的日内瓦附近	400GeV
费米国家加速器实验室或费米实验室	伊利诺伊州的芝加哥附近	1 000GeV



在直线加速器中,漂移管悬于共振腔的顶上。离子从离子源到靶,速度不断增加,漂移管的长度也相应增大。

在直线加速器中，由射电频率振荡器将快速交变电场加在谐振腔上。谐振腔内有一串漂移管。当粒子通过两管间的空隙时，它们从电场获得加速的脉冲。当质子通过整个谐振腔后，它获得多个吉电子伏能量。然后，它对准固定靶打去。

加利福尼亚州斯坦福大学的 3.2 千米直线加速器，称为斯坦福直线加速器中心，缩称 SLAC。它能把电子加速到超过 32GeV。

对撞机加速电子和正电子、质子和反质子或其他粒子组合。全球最强大加速器是费米国家加速器实验室的 Tevatron 对撞机（质子-反质子对撞机），预计产生 20 000GeV 能量，它正在得克萨斯州建造中。

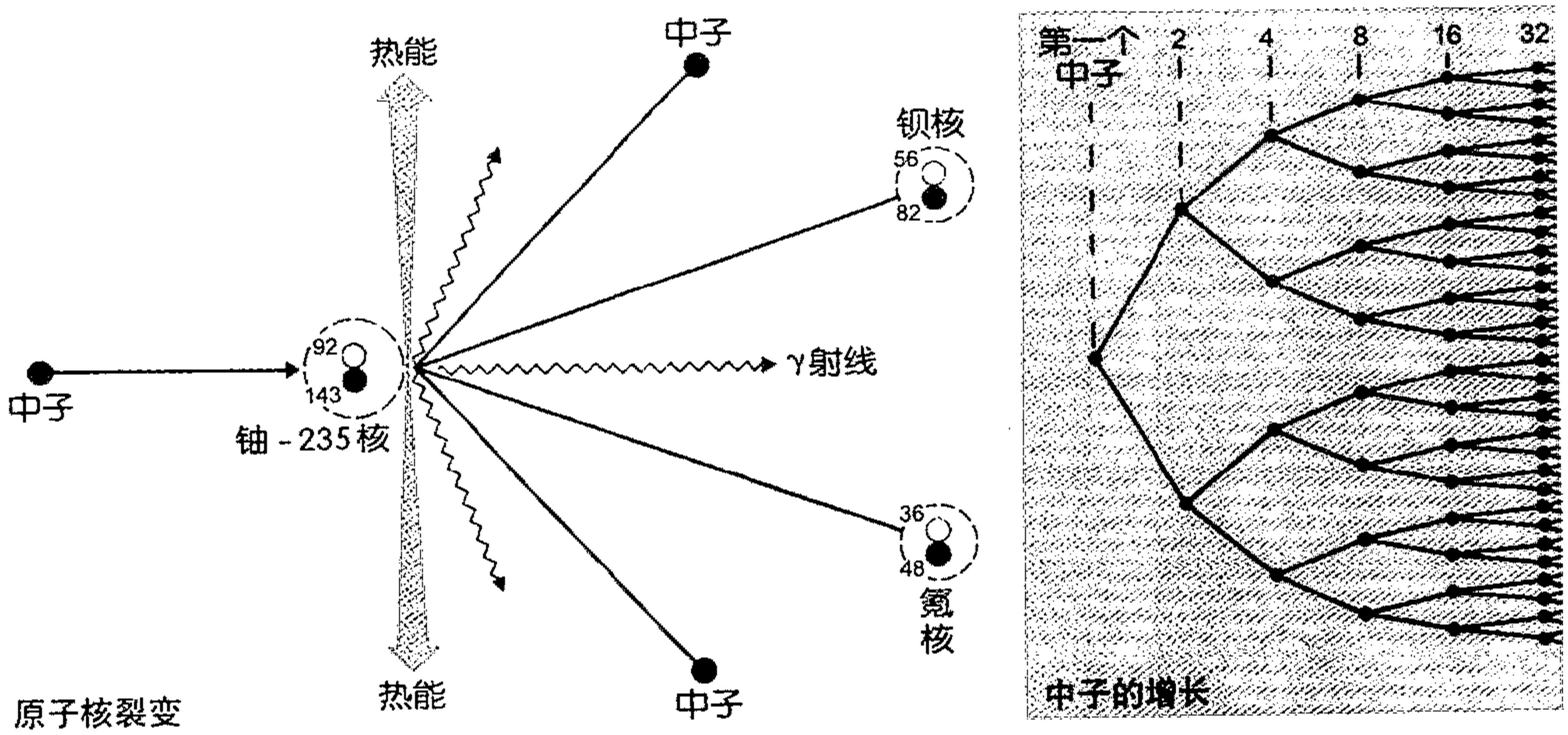
核结构的秘密

构成原子核的粒子太小了，远非显微镜所能见到。然而，这些粒子的作用，能通过加速器试验，以高能粒子撞击大粒子，从产生的新粒子或从碰撞物质产生的辐射来测定。加速器中所用的高频率（或短波长），产生了高能粒子，使这些机器成为能够揭露亚原子核大小的效应的精细探针。反过来，这又为物理学家提供深入核结构的信息。

这些构成原子核的粒子曾被认为是物质的最基本的粒子。现在认为它们由更小的称为夸克的成分构成。夸克、轻子和玻色子被认为是物质的一些基本粒子。轻子是电子和与电子相似的粒子，它们不同于夸克，不参与核内强相互作用。另一种粒子称为玻色子，它们传递一切其他粒子间的相互作用，也承担传递自然界的作用力。例如胶子是玻色子，它显示出强的相互作用力，使夸克粒子结合在一起。（见：**原子粒子**）

核能技术的发展

原子序数大于 83 的元素具有天然放射性。它们的原子核自动地发射粒子并变成另一种原子核。原子序数大于 92 的元素更不稳定，它们几乎不能在自然界中发现。科学家假定如果重元素分裂为两个或更多个碎片，将释放大量能量。



慢中子的撞击使铀-235 核分裂为两个新核。它们可能是原子序数为 30 到 64 的范围内的 30 个或更多元素中的两个。产生热、辐射和中子（2 个或 3 个，平均约为 2.5 个）。中子以显著的速率增长形成链式反应（见右图）。

核能的释放

上述的分裂或裂变反应于 1939 年实现。铀的同位素（铀-235）的核受中子撞击时，分裂为两个较小的核。这个反应也产生了新的中子，每次裂变约释放 200MeV 能量。核裂变反应的一例如下：

$$_{92}U^{235} + _{0}n^{1} \rightarrow _{36}Kr^{90} + _{56}Ba^{142} + \text{几个中子}$$

这个核反应的意义在于：1 千克的铀的裂变所释放的能量，等于 6 000 吨煤的燃烧或 18 000 吨 TNT 的爆炸。稍晚的实验证明钚和钍也能裂变。钚是人造元素，它由铀-238 经中子轰击后制成。

链式反应

核裂变产生几个新的中子，提供了链式反应的可能性。以一块纯铀-235 为例，并假定每次裂变中都释放两个中子。进一步假定没有中子逃失并假定全部中子击中铀-235 并引发裂变。第一次裂变产生两个中子。这两个中子的每一个都引发一次裂变，共产生四个中子，经过 20 次这样的裂变，将产生数达百万的中子。如果这过程再继续下去，在不到一秒种内将产生天文数目的裂变。所释放的能量将产

生巨大的压强而使系统爆散。1942 年，在铀-235 和钚中，实验证明能够建立自持的核裂变链式反应。

原子弹——不可控的核能

因为上述这些发现是在第二次世界大战期间完成的，将原子核能首先用于破坏目的就难以避免。美国政府倾全力制造核武器，以利用由链式反应提供的爆炸能。这有必要解决三个主要问题。

首先，把可裂变的铀同位素铀-235 与远较丰富的铀-238 分离，需要建设很大的工厂。其次，制造钚必须用中子轰击铀-238。生产这两种物质是很慢的过程。要生产出一个原子弹所需要的数量，就得连续生产许多个月份。

第三件工作是设计并构建原子弹。在小原子弹中，中子在分裂够数的原子核以维持链式反应之前，已飞离核物质。经大量计算和实验，确定了充分的或"临界"的尺寸，并开始建造。1945 年 7 月 16 日，在新墨西哥州的阿拉莫戈多爆炸了试验原子弹。爆炸中释放的能量与理论预言的一致。同年 8 月，两颗原子弹投落在日本的广岛和长崎，每颗原子弹的爆炸能量近似于 20 000 吨 TNT。

核聚变反应

在极高温度下，轻元素的原子核聚变成较重的核。聚变反应和裂变反应相比，多得多的物质转变为能量。聚变反应的一例如下：

$${}_1H^2 + {}_1H^3 \rightarrow {}_2He^4 + {}_0n^1$$

核聚变是太阳和其他恒星产生光能和热能的基本机制。

热核武器

轻元素例如氘和氚（氢的同位素）能被混合，并形成原子弹的外围包层。当原子弹爆炸时，高温可启动核聚变或热核反应。于是氢弹爆炸了。氢弹爆炸所释放的能量是原子弹爆炸的几千倍。

为了核能的最大应用，必须严格地控制它的释放。在原子弹的爆炸中，只有可能的裂变次数最大值的一小部分产生裂变。利用减速剂使快中子转变为慢中子，核裂变数就大为增加。核反应堆就为了实际应用目的控制核能的释放。

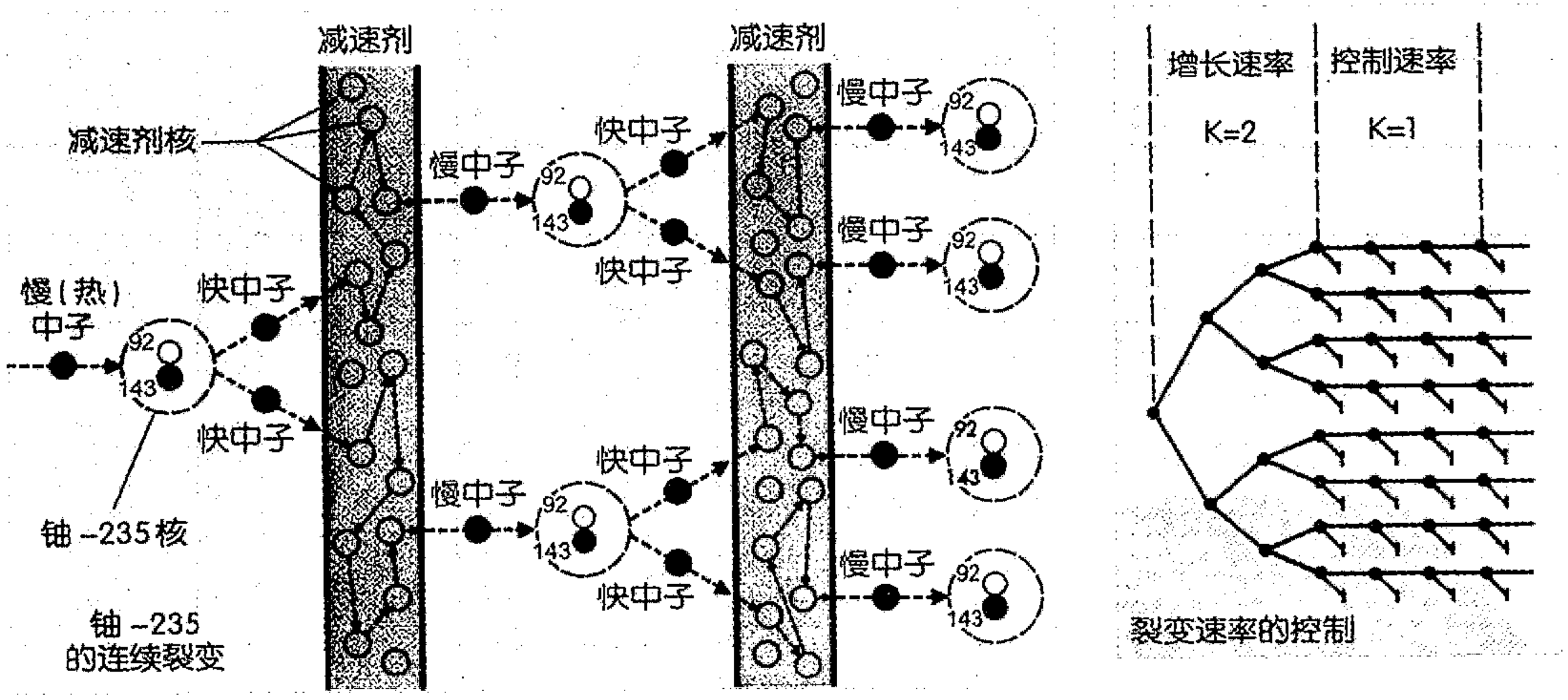
核反应堆

核反应堆是把产生和控制核裂变过程的必需设备和物质全包罗在内的结构单元。反应堆有不同类型。动力反应堆用来产生热并传输到蒸汽中。研究和实验反应堆是作为中子源用于产生放射性同位素，或完成物质的中子衍射的研究。这两种反应堆必须具有某些基本部件。

核燃料可用铀或钚。使用铀时，它可以是含 0.7%的铀-235 和 99.3%的铀-238 的天然铀。它也可以是天然铀金属中增加易裂变的铀-235 的含量。它也可以是纯铀-235，它是把丰度更高的铀-238 完全分离掉而制得的。

铀的化合物也用做核燃料。包括氧化铀、硫酸铀酰和硝酸铀酰。按照反应堆的结构和用途，铀燃料制成许多不同的元件。使用的固体铀燃料为棒形、块形、圆柱形、平板形、曲面板形和丸形。钚可用特殊的化学方法分离，常常以纯金属的形式用作核燃料。

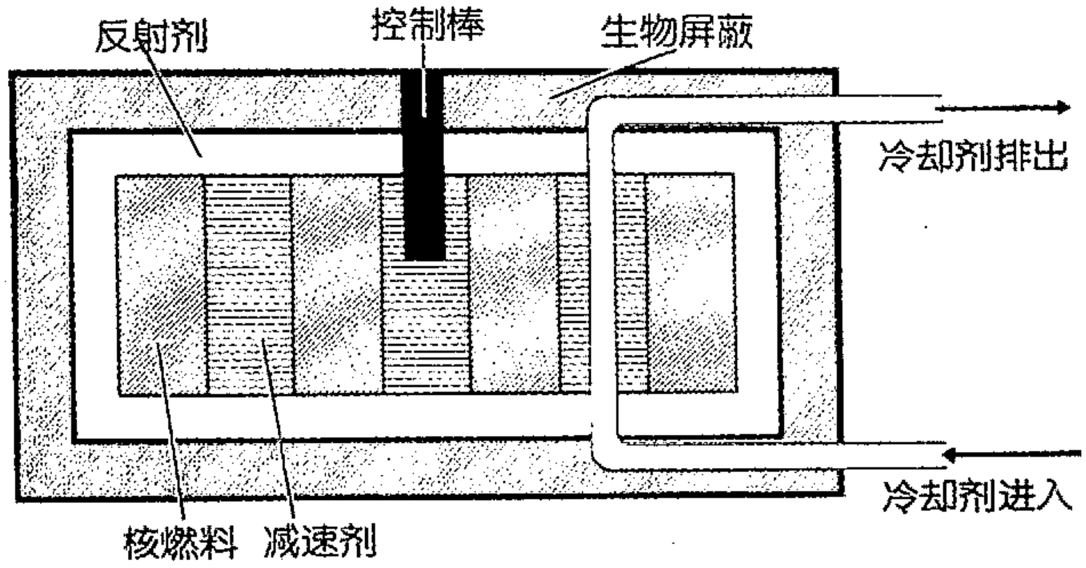
核反应堆的第二个主要部分是减速物质。它的原子的质量必须相对地小，而且必须不吸收中子。核裂变中产生的快中子经受与减速剂原子核的一系列碰撞后就变慢了。较轻的原子核的质量与中子比较接近，减速作用更明显。中子在碰撞中所损失的能量被减速剂的原子核所吸收。用于核反应堆的减速剂，有石墨形式的碳、轻金属铍、重水（含一个氘核）和轻水（常用的水）。



铀-235 俘获慢中子远比快中子更经常。裂变产生快中子（左图）。它们和减速剂核碰撞时损失能量，并以慢中子方式出射，使更多的铀-235 核裂变。用吸收中子的棒控制链式反应（右图），使中子生长的增殖系数 K 从 2 降到 1。

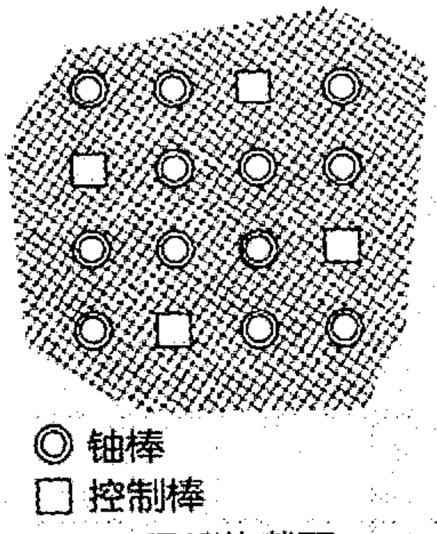
反应堆的另一个主要元件是冷却剂。主要冷却剂是液体或气体，它们泵入或吹入堆芯，传出主要由核燃释放出来的热。如果不维持这个冷却循环，燃料元件组的温度能够升高到使燃料元件熔化。

最常用的控制核裂变的方法是插入或抽出像镉棒那样吸收中子的物质。当这个棒往反应堆芯插入时，越来越多的中子被吸收，核裂变反应就慢下来了。当它抽出时，吸收中子的表面就越来越小，核反应率就增大。反应堆内也备有安全或关闭棒。这些棒由硼或其他优质中子吸收物制成。它们都能够同时插入反应堆，使裂变反应完全停止。



核反应堆的主要部分

图示反应堆内控制核能释放的基本单元。堆芯由核燃料和减速剂组成，控制棒被安排得易于插入堆芯和从堆芯取出。



石墨堆的截面

图示石墨堆内铀棒和控制棒的位置。石墨堆是反应堆的最早类型。

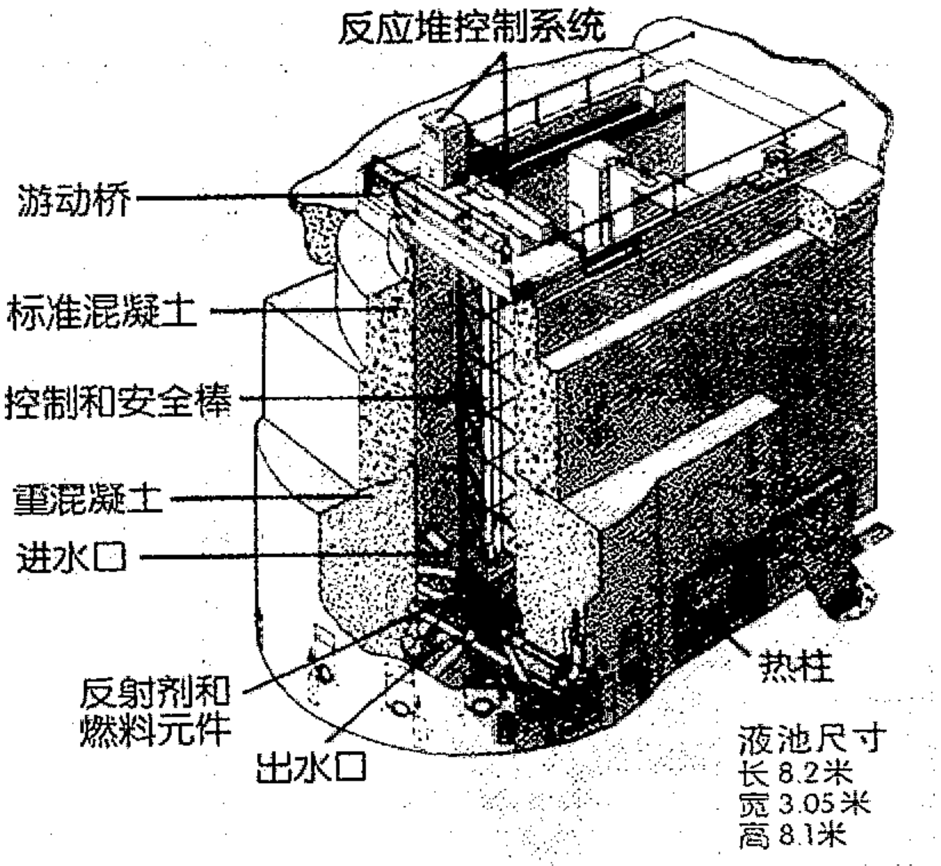
一层称为反射剂的物质，围住了含有核燃料及减速剂的堆芯。反射剂可以是轻水、重水、石墨或铍。反射剂的作用是把外逸的中子反射回堆芯中去。反射层又被热屏蔽层所包围。这一层反射回中子并吸收由裂变反应产生的辐射。热屏蔽层就如它的名所示，也吸收了由辐射产生的热量。

最后，上述的反应堆的全部部件都被生物屏蔽层所包围。生物屏蔽层吸收了穿过热屏蔽层的中子和辐射。它由钢筋混凝土制成，内含铁和钢等重物质。生物层常有若干米厚。它的主要目的在于保护堆旁的工作人员。

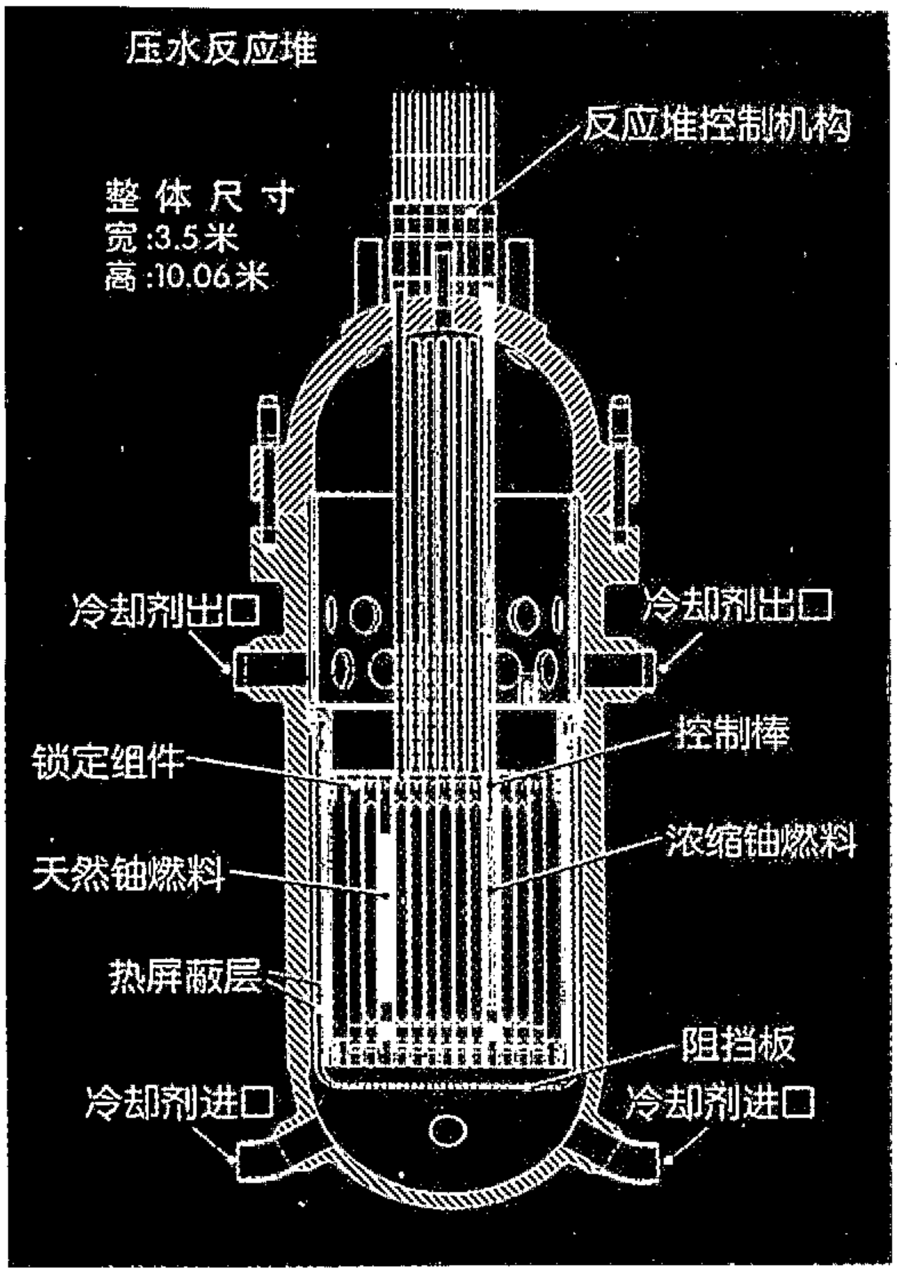
研究和实验反应堆 为了专用目的，发展了很不相同的各具设计特色的反应堆。其中之一是箱式反应堆。这个反应堆将栅状的燃料元件封闭在反应箱内。反应箱通常安置在混凝土辐射屏蔽层内，但也可安置在水池中。

箱式反应堆的堆芯是一组包有铝皮的核燃料板，这些板由浓缩铀-铝合金制成，放在密封的反应箱内的固定位置上。铍常用做基本的反射剂。反应堆是用轻水或重水冷却和减速的。使用重水常可降低燃料的消耗，并从反应堆提供更为均匀的中子束。

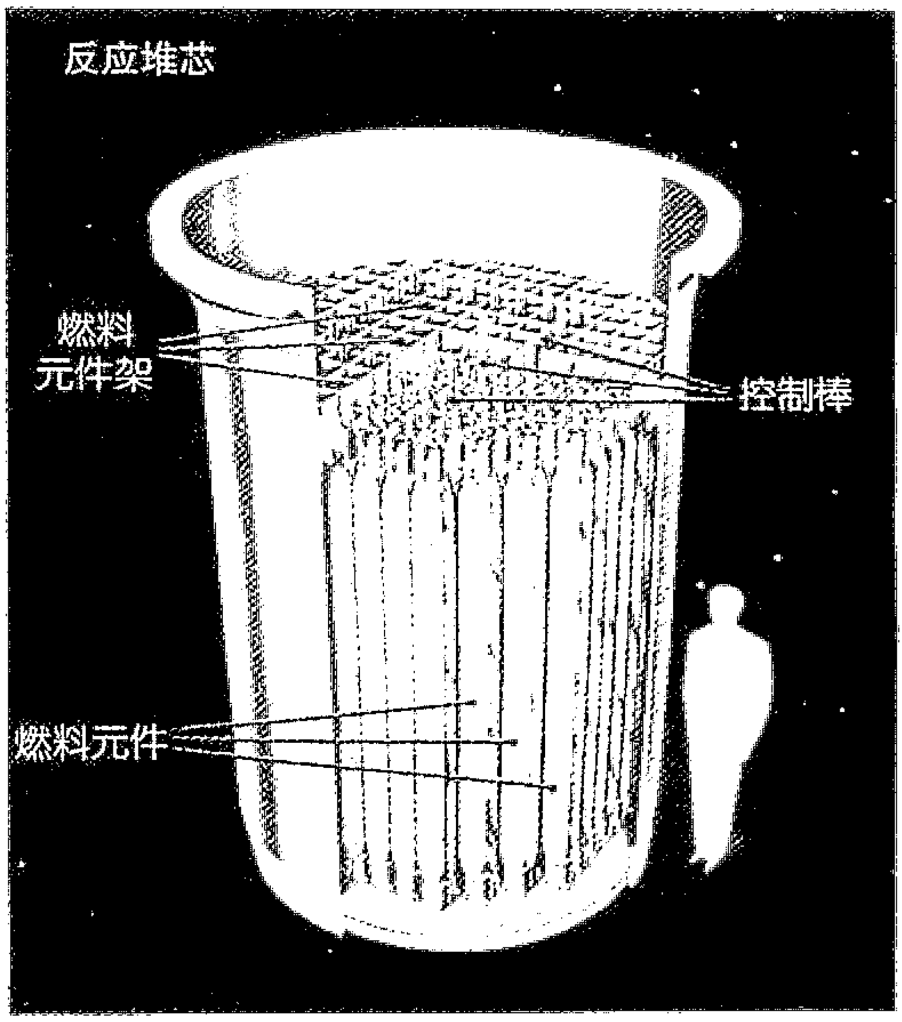
大部分研究用的箱式反应堆的额定功率范围约达到



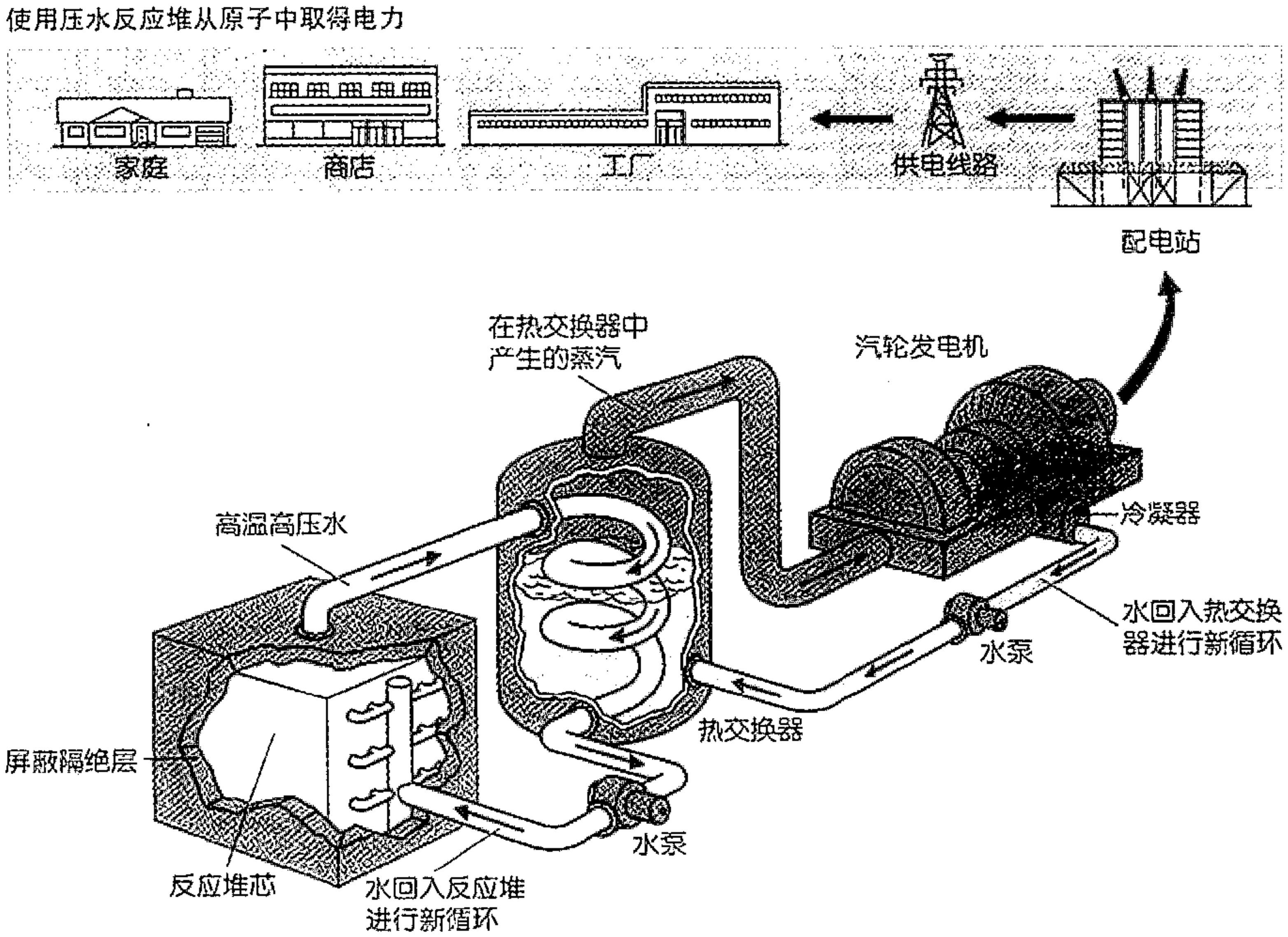
在研究反应堆中，包围金属结构的全部容积在运行时充满了水，研究样品通过基座的孔洞插入以接受辐照。热柱含有石墨块，起减速作用。



美国第一个原子能发电厂的反应堆,堆中核裂变产生的热由轻水冷却剂吸收并传输到堆外。



图示动力堆的堆芯,它能从反应堆容器中移出。堆芯中没有减速剂。流动的水兼具减速剂和冷却剂的作用。



核电厂类似于普通电厂,除了以核反应堆代替蒸汽锅炉。发电厂和配电系统是一样的。

40 000 千瓦。这些反应堆用来研究多种核问题。它们也用来制造医用或工业用的放射性同位素。新的反应堆设计和新材料、新操作程序经常需要测试。也要利用试验反应堆。设计用来校测材料或元件辐照的反应堆常称为通用试验反应堆，那些为特殊功能设计的通常称为特殊试验反应堆。

动力反应堆　动力反应堆产生热量，并转移到蒸汽中。蒸汽能够直接用做动力，例如在核潜艇中。它也能用来发电——例如，在商用核电站中。

1954 年，核动力潜艇"鹦鹉螺"号成功地下水了。许多装有核反应堆的潜艇相继制成。美国海军开始建造核动力航空母舰和导弹巡洋舰。20 世纪 70 年代后期，海军有了超过 75 艘的核动力舰艇。一艘核动力商船"萨凡纳号"于 1959 年下水。美国海军核潜艇计划的成功实施，主要归功于里科弗的努力。

美国的第一个商用原子能发电厂是美国海军反应堆计划的衍生物。1957 年，宾夕法尼亚州 Shippingport 的容量为 60 000 千瓦的压水堆（PWR）开始运行。在这个反应堆类型中，轻水兼具减速剂和冷却剂的作用。反应堆容器的钢壁有几英寸厚，堆芯有 3.7 米高。水泵入反应堆容器，上升通过堆芯，吸收核裂变释放的热量。

在压强为 140 千克力每平方厘米和温度超过 260℃下通入热交换器中密封的盘旋管系统，热交换器内也充了水。热量由反应堆中流出的热水通过盘管传输给热交换器中的水。反应堆水的温度和压强都下降了。这些相对较冷的水从热交换器流出，再泵回到核反应堆，再次加热，并开始新的循环。反应堆容器、冷却剂泵、热交换器和管道系统全封闭在一个混凝土防事故外壳的建筑物中。

原来在热交换器中的水吸收了反应堆水释出的热后，就变成蒸汽。蒸汽输入汽轮机，蒸汽压强使轮机转动，轮机驱动发电机。然后蒸汽进入冷凝器，转变为水。当水回到热交换器，新的循环又开始了。发出的电传输到配电站。

一个或两个轻水堆（LWR）构成压水堆的基本设计已被美国政府批准，且已投入运行或正建造中。另一种基本设计是沸水堆（BWR）。压水堆和沸水堆的主要区别是后者在堆芯内直接将水变成蒸汽。然后蒸汽推动汽轮机，轮机又驱动发电机。如此，压水堆中产生蒸汽的回路在沸水堆中就可省略了。

加拿大的商用重水堆（HWR）称为"加拿大的氘-铀"反应堆（CANDU），以重水（D_2O）代替轻水（H_2O）在加压回路中把堆芯的热输出。D_2O 中的氘的质量是 H_2O 中的氢的 2 倍。因为重水比轻水吸纳的中子更少，更多的热中子保留在反应堆中，增加了它们击中可裂变的铀-235 的机会。这样就可利用天然铀作燃料，它由 99.3%的铀-238 和 0.7%的可裂变的铀-235 组成。因为有这个好处，沸水堆就不需要昂贵的铀-235 浓缩的铀燃料。

气冷堆（GCR）用二氧化碳或氦代替水作为冷却剂。在英、法两国，二氧化碳用于商业性原子能工厂；氦的利用是在美国发展的。在美国 18%的电力是由核电厂供应的。在法国，超过 70%的电力来自核电厂。

增殖反应堆　又称快堆或快中子堆，设计这种反应堆是为了同时产生动力和新燃料。增殖堆不需要减速剂，所以中子保留了较高速度和能量。当这些中子被铀-238 俘获时，铀-238 几乎是不可能裂变的，而能转变为一种称做钚-239 的超铀元素，它是可裂变的。一个反应堆中生产出来的新燃料，分离后可作为燃料供另一个反应堆使用。因为自然界中铀-238 比铀-235 丰富得多，增殖反应堆的发展可延长核燃料的供应。

小型的 EBR-1 增殖反应堆已在 1952 年于美国首次发电。其他增殖堆在美、法、德、意、英、日、俄和印度等国都有发展。惟一的用于发电的商用增殖堆是法国的超级凤凰堆。

辐射公害

铀-235 的裂变有 30 种或更多的途径，并有总数约为 200 的生成物，这些产物都是放射性的。它们衰变并发出 β 和 γ 辐射。β 射线能够进入人身一段短距离。γ 射线有强穿透力，能够相对地较少吸收而穿过人体。人体暴露于这类辐射下就要受伤害，重复暴露有累积效应。超过剂量时能引起白内障或癌。它也能够损害生殖细胞并引起基因突变，可能在未来的几代中产生生理缺陷。

在核反应堆运行时，要十分注意现场人身的安全和保护仪器的灵敏。热屏蔽层和生物屏蔽层是安装在内部的保护设备的一例。设计了准确工具，可以远距离控制放射性物质。当物体或地面等表面受到辐照，它们就需用专门工具清洗。并设计了抗辐射服供在危险区域工作的人使用。

核燃料循环

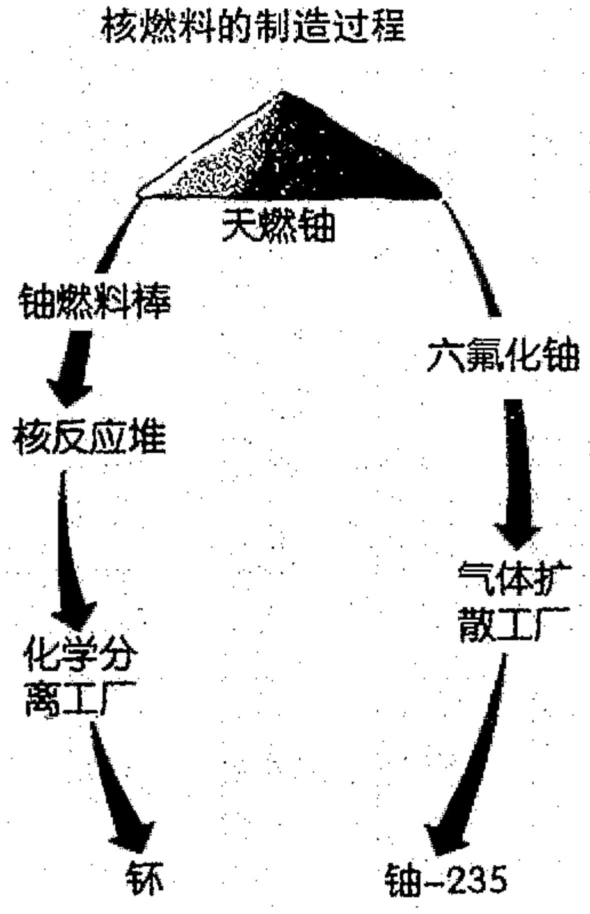
核燃料循环是指核燃料的采炼、浓缩、装配成用于反应堆的燃料组然后再处理的整个系统。核燃料的再处理循三条途径之一：回归反应堆；经浓缩后回反应堆；暂作废料储存。

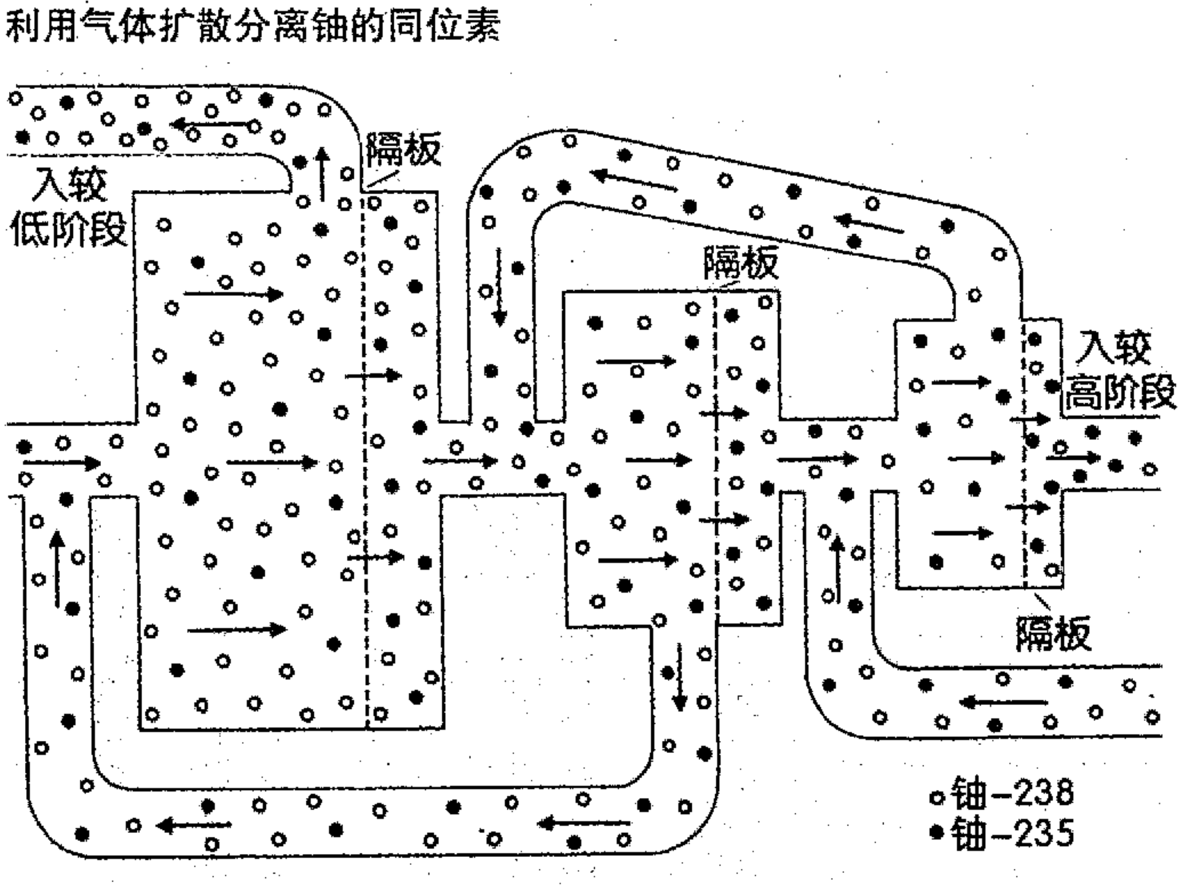
天然铀是核燃料的一种。它可用通常的采矿方式进行开采。为了产生可裂变物质，这些矿物首先经过破碎并磨成粉。粉末和水混和形成泥浆，再用酸溶解。加入碳酸钡使镭或其他金属杂质沉淀。留下的铀溶液混入过氧化氢。形成氧化铀沉淀物。通过过滤分离出这些氧化物。用硝酸溶化它，再经乙醚纯化，得到重铀酸铵（$(NH_4)_2U_2O_7$）沉淀，是亮黄色固体。用电熔炉给重铀酸铵加热。通以氟化氢，制成固体的四氟化铀。在高温下这个化合物还原生成纯金属铀。金属经机械加工，密封在铝容器内，准备用于反应堆中。

在第二种处理铀矿的方法中，天然铀被转化成称做六氟化铀的化合物。这种化合物虽然有腐蚀性并很活泼，它却是中等温度（60℃左右）下惟一的气体状态的铀化合物。可用几种方法处理六氟化铀使铀-235 同位素与铀-238 同位素分离。利用气体通过多孔隔板的扩散能够实行分离。六氟化铀化合物最为适用，因为氟只有一个天然同位素。扩散的过程取决于铀而不受氟的影响。这过程由气体多次通过多孔隔板组成，隔板有几十亿个口径小于 50 万分之一厘米的细孔。铀-235 通过隔板比铀-238 更快，并进入下一个更高阶段，达到进一步的浓缩。铀-235 含量较弱的部分回到较低阶段重新循环。铀-235 同位素逐步地分离并

浓集。这个方法用于美国的轻水反应堆工业。这种铀-235浓集的物质用化学方法转化为二氧化铀并加工成丸以备用于反应堆。

在反应堆中产生钚之后，必须把它从其他裂变产物中分离出来。由于产物都具有放射性，这个步骤是有危险性的。使用过的铀棒含有钚送入基本分离工厂。分离出四种液体，其中之一含有不纯的钚。把钚的溶液用化学方法分离出来并转化成纯钚金属。这种钚可用做反应堆燃料从而进入新的燃料循环。每吨铀棒中有不到百克左右的钚。





从天然铀反应堆中产生的钚，可用化学方法分离成纯金属（左图）。气体扩散过程（右图）是使可裂变的铀-235和更丰富的铀-238分离。气态铀化合物流经多孔隔板，板的一边加压，一边真空。铀-235和铀-238化合物的分子以不同速率通过隔板，因为扩散速率和分子的质量成反比。

放射性同位素

放射性同位素由常见元素如碳、钴、钠或磷的放射性原子构成。一些放射性元素是反应堆内铀原子裂变后的剩余物。另一些是将正常元素放进正发生裂变的反应堆中，暴露在强辐射下而形成的。

放射性同位素发射β和γ射线。射线的强度和放射性物质的衰变速率成正比。因此不同的放射性同位素能够用于特定的目的和过程。

研究和工业用手段 放射性同位素常被称为示踪元素，并被描述为从17世纪发明显微镜后的最有用的研究手段。例如，生理学家用示踪元素了解人体中在何处并以多快速率进行物理学的和化学的过程。

这类技术的一个例子是用放射性钠-24做的实验。很小量的这个同位素加入食盐溶液，注入人体。对放射性灵敏的仪器跟随在全身运转的食盐中的示踪元素。科学家了解到它很快透过血管壁，带到了汗腺，转入汗中，并出现在人体表面，整个过程不到一分钟。示踪元素也用来研究昆虫的飞行习惯和花样。

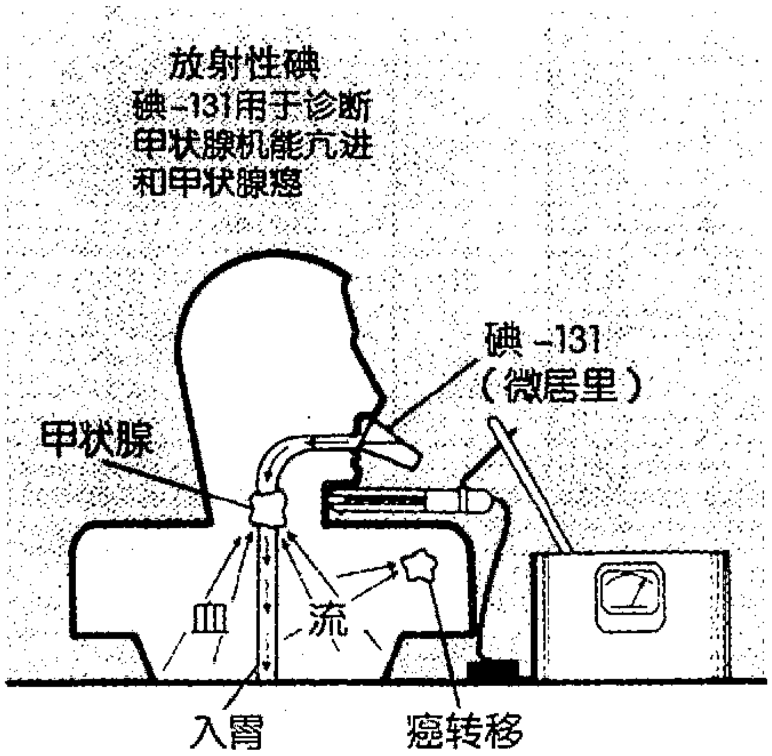
农学和植物学研究已得益于放射性同位素的应用。科学家已经确定植物生长时如何吸收化学物质。利用放射性钴，植物学家能够培养出植物的新品种。通常要用几年的选种培育时间才成功的组织变异，现在花几个月时间就能完成。

工业操作上常用放射性同位素代替X射线或镭发现铸造和焊接金属的缺陷。在这类工作中，值几元钱的钴代替了值数千元的镭。石油工业几乎将放射性元素用于每一种操作，从钻井到成品的分配和应用。

对医学的帮助 医学园地已经从放射性同位素形式的核能中大大获益。医生将放射性同位素用于肿瘤定位，诊断和处理病人因甲状腺不正常引起的痛苦，研究和处理癌症。放射性钴用于多种医学需要。少量的天然元素在核堆中经受相当长时间的辐照能具有强放射性。将它放在厚的铅盒中，盒上有一小孔，盖有活门，然后运送到医院。深感癌症之苦的病人能够接受有控制的辐照治疗。这种形式的放射性物质比镭要便宜得多，它也比用X射线辐射简单得多。

磷的放射性同位素是另一个重要的诊断助手。将含有放射性磷的溶液注入病人的血管，它集中于病人某些脑瘤的细胞中。一种专门设计的盖革计数器在病人的头部表面上移动。停留在肿瘤中的放射性磷所发的辐射，准确地被计数器记录。

甲状腺强力地吸引碘，因此放射性碘既用于诊断也用于治疗甲状腺病。



口服碘-131后的探测情况。电子计数器测量甲状腺吸收的碘-131所发的γ射线。所吸收的碘-131的数量显示甲状腺功能的完善程度。碘-131也有助于发现甲状腺癌，包括称为转移的二次生长癌。

可控核聚变的和平应用

核能释放得最强烈的是热核反应(轻元素的核聚变)，控制这类反应的工作已经开始。温度至少达到5 000万摄氏度，反应才能开始。裂变核弹能产生如此高温；然而，为了和平应用，既要高温又不能损坏设备。

在现今的实验中，磁场可用来代替容器把聚变物质控制住。氘离子处于强电磁铁的线圈内。线圈的磁场将称为等离子体的物质约束在线圈的轴上。这种处理称为"磁瓶"。非常大量的电荷射经等离子体，为等离子体加热。

用实验室规模的"磁瓶"做试验，温度已达到2 000万到3 000万摄氏度，并似有一些聚变。进一步的研究被延缓了。因为线圈和电荷需要巨大的能量。把设备的温度降低到接近绝对零度(-273℃)，可以克服这个困难。在这温度下，线圈和线路中的金属几乎不阻碍电荷的流动，所需的功率可以降低到能实际使用的程度。

试探中的另一方法是惯性约束，或更明确地说，激光核聚变。在这个方法中，功率很大的焦聚激光束，将聚变物质(氘或氚)小球在短周期内压缩到极大密度。其他惯性约束涉及以电子或离子束代替激光束。如今，科学家并不希望在2000年以前，使用这些聚变方法的可运行的反应器能发出电来。

1989年，两位化学研究人员宣称，他们使用了较普通的物质——重水(水中的氢原子被氘取代)、铂电极和钯电极——在室温下触发了聚变反应。然而，其他科学家重复这个称为"冷聚变"的实验，产生了相矛盾的结果。

核能的控制

第二次世界大战后，主要致力于核能在和平时期的应用上。然而，潜在的辐射公害需要坚持不懈地关心核材料的应用和出售。全球核武器库大量增加也引起严重注意。

在美国，对核能活动的控制由核管理委员会负责。委员会批准建造和运行核反应堆的许可证以及核材料的所有权和使用。其他职责包括建立保护公众健康和安全的措施。核反应堆的建造和运行已经受到国家和所在地的地方政府的日益深化的复查。

核反应堆的安全

核电厂的设计和运行多少要做到阻止和延缓事故中放射性对环境的泄漏。在美国，商用核电厂的运行没有造成一起死亡事故。然而，放射性的事故泄漏的潜在的致癌和遗传上的损害，使公众更关注反应堆的运行。

1979年3月28日，宾夕法尼亚州哈里斯堡附近的三英里岛的2号反应堆发生事故，由于设备的故障和人为的错误相结合，堆芯严重损坏。虽然，所引起的放射性泄漏对健康的直接影响仍在考察中；由于新闻媒介，事故的心理影响覆盖面广，这也有助于对反应堆安全的关注。

核管理委员会和它管制的工业特别注意三英里岛事故的教训，并增进了对核电厂安全操作的理解。然而，因三英里岛的事故而产生的警觉，使新核电厂的建造戏剧性地慢下来了。

1986年4月苏联的核电站设备事故发生后，重新引起对反应堆安全的国际性关注。切尔诺贝利核电站位于乌克兰的基辅西北约128公里处，发生了灾难性的核燃料熔堆事故。放射性云从工厂扩及欧洲的大部分，污染了庄稼和牲畜。较少数量的辐射甚至远及亚洲和北美洲。

另一个被关注的问题是核废料在何处安放。这废料大部分是反应堆使用过的燃料。它具有放射性，其中的一些部分将无限期地放射着。通常将这些废料保存在暂时的储存点，直到储存问题有了永久的解答。在20世纪80年代，已有这些地点的放射性废料开始向环境泄漏的报告。至今，储存核废料问题的最可行答案，涉及将废料转变成玻璃状的物质，这个过程称为玻璃化。

核武器的不扩散和控制

第二次世界大战后又有五个国家——苏联、英、法、中、印度宣示了爆炸核装备的能力。另外几个国家有或近乎有配备核武器的潜在能力。

1970年，核武器不扩散条约开始生效。签字的无核武器国家同意不发展核武器，以换得已有核武器的国家向上述国家提供用于和平目的的核材料和技术。在主要限制美、苏两国的核武器竞赛的努力中，从20世纪80年代起就进行类如"限制战略武器对话"(SALT)的谈判。国际原子能机构(IAEA)试图为不扩散核武器提供保证。

撰文：Robert A. Bari

固体 SOLIDS 在冰冻的冬日里，一桶留在户外的水，不久看起来和触摸起来就有变化了。它的化学结构——H_2O——保持不变，但是它的物理状态不同了。它

已经冻结起来变成冰了。它已从液体变为固体。

某些情况符合于冰，也符合于整整一类称做固体的物质。一则，冰像所有的固体一样，比它的液体更冷。此外，如果把一块冰放在杯中，它不向下流动，并不呈现杯子的形状，而是保持它自己的大小和形状。然而，将水倒入杯中，它在杯中就呈现出杯子的形状。保持自身形状，而不符合其容器的形状，这样的物质就是固体。在常温常压下钢、铜和钻石都是固体。食盐的颗粒也是固体，这些物质都各自保持其本身形状和大小。

熔点和冰点

如将盛冰的桶提进暖和的厨房中，它逐渐变暖，直到它达到0℃。在它变成液体状态的一段时间内，它保持这个温度不变，此过程称做熔化。然后它的温度上升到和厨房的温度相等。如果将这桶水再提到户外，它冷却退回至0℃，且维持此温度，直至全部变回到固体，此过程称做凝固。然后它的温度降至户外水平。熔化和凝固都发生在同一温度下，对水为0℃。这对于所有呈固体形态的晶体都是符合的。

不同的物质的熔化和凝固的温度差别很大。例如，氧在非常低的温度-218℃下凝固。在室温下惟一是液体的金属汞-39℃下凝固。食盐的凝固点为801℃。这个温度远远高于一般在地球表面上的最高温度，而与许多其他固体的凝固点比较却低。例如，铁的凝固点为1 535℃，石英为1 610℃。

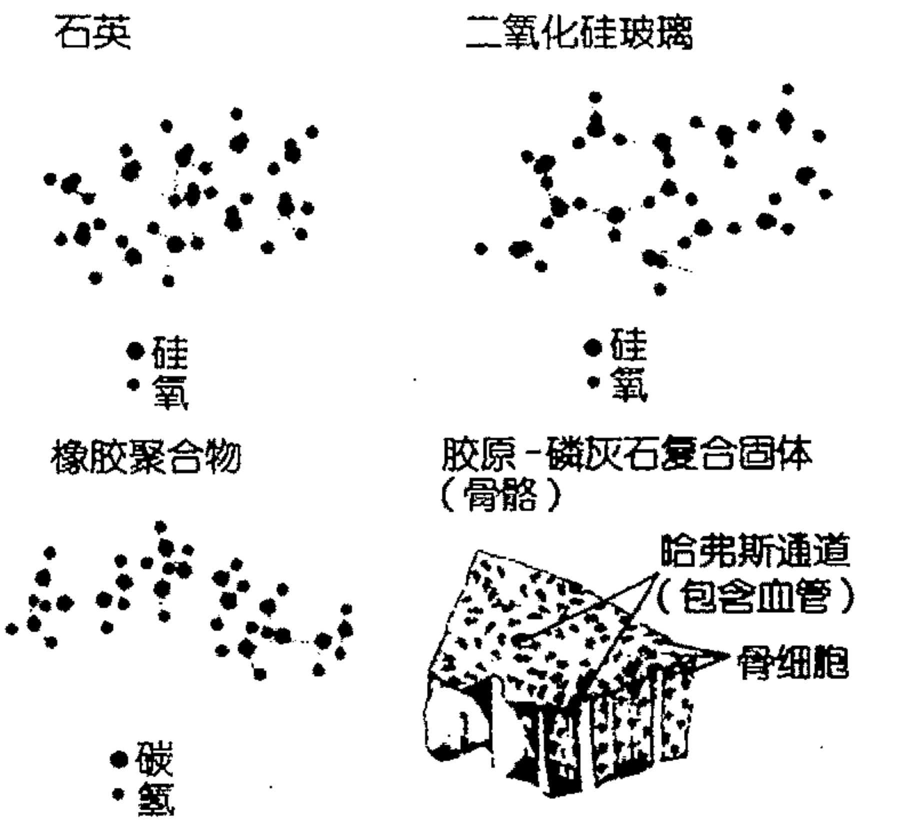
科学家从分子能量和分子的相互吸引力来解释熔化现象。分子是物质的最小单元，显然它仍然是那个物质（见：物质）。每一个分子，无论它正在移动、旋转或仅仅在它的位置上振动，都具有运动能量。热是分子的运动能量，分子运动愈快，物质愈热。

在固体中，由于邻近分子的吸引，每个分子固定在一定的位置上，所以它移动的距离很短。但是固体若加热，就会给予它的分子更多的运动能量，以至这些分子更强烈地旋转和振动起来。因此每个分子所占据的空间就会增大，这是因为它在更大的区域中动来动去。这样也就导致包含这些分子的固体膨胀。

当一些固体变得更热时，膨胀会带来一些实际的后果。例如，工程技术人员必须保证使桥梁中间有空隙，这样桥梁在热天膨胀时会有所需的空间，否则结构将会弯曲或断裂。

当物质已经达到熔点时，它的分子的能量太多了，以至不能停止在一处。这些分子会脱离它们应处的固定地方，并且无规则地运动起来。当固体正在熔化时，其温度保持固定不变，因为所有的作用于固体的热都用来克服使那些分子固定在一处的力。一旦该固体已完全熔化，作用于该物质的热会重新被用来加速物质的分子的运动，而不是用来克服分子之间的力了。因而该物质的温度会重新上升。

固体分子之间的吸引力愈强，其熔点和沸点将愈高。由于氧分子彼此间不强烈吸引，将氧从固体变为液体就需要非常少的能量。然而将石英从固体变为液体，则需要很多的能量，因为石英的分子牢固地被约束在一起。



上面是一些典型的固体的微观结构图。石英由对称排列成环的二氧化硅晶体构成。每个环包含6个硅原子。二氧化硅也能形成玻璃，玻璃具有以不同数目硅原子形成的环的不规则结构。橡胶是含碳和氢原子的长链聚合物。骨骼包含嵌在硬的钙基无机磷灰石之中的强胶原蛋白。

有些固体在常温常压下并不熔化为液体。如干冰（固体二氧化碳）在-79℃从固体直接变为气体，这个过程称为升华。

固体的种类

固体可分为两大类——晶体和无定形固体。晶体和非晶形固体分子都在限定的区域内运动。晶体的分子排列成规则对称的型式（见：**晶体**）。相反，非晶形固体的分子，像液体的分子一样，无规律地排列着，非晶形固体无固定的熔点，当受热时，只不过更易流动而已。由于这个缘故，许多科学家将它们视为缓慢流动的液体。

窗玻璃是典型的非晶形固体。它的基本结构由二氧化硅长链组成，这些长链无规律地连在一起形成缠结不清的许多环。每一个这样的环包含若干不规则数目的二氧化硅单元。晶体石英也由二氧化硅的环组成。不过它们排列成规则的形式。

许多塑料保持它们自己的形状，而不是向着盛它们的容器的形状流动。塑料是由长链分子制成的。当其在固体状态时，一些塑料部分地变为晶体；一部分分子排成一列有规则的序列，而其余部分则无规则地排列着。当这样的物质液化时，结晶区域消失，全部物质成为无规则的。

有时，固体是包括几种状态的物质之复合结构的一部分。生物固体，如木材和骨骼是复合物质。木材包含为聚合物的木质素和纤维素。还含有由液体和不溶解的固体组成的活细胞。木质素这种坚性的胶结材料支持着强而柔韧的纤维素分子。骨骼包含胶原——一种强韧聚合物——和硬而脆的钙化合物——磷灰石。细胞及食物管道散布在整

个结构中。

固体的用途

固体可以是硬的(例如水泥)或软的(如黄金);脆的(如蛋壳);有延伸性的(如铜)或有弹性的(如橡胶);重的(如铅)或轻的(如轻木)。一些固体是热和电的良导体,另外一些则是绝缘体。

固态物理学家和化学家研究固体的结构与其物理性质之间的关系(见:**固体物理学**)。他们的发现导致了如激光器、半导体管及太阳能电池等设备的发明。

晶体学家研究分子在晶体中的排列(见:**晶体**)。冶金学家研究金属和合金。

半导体 SEMICONDUCTOR

在第二次世界大战以前,半导体只是实验室内一个有兴趣的课题——结晶固体的一类,就如它的名字所示,导电性能既不很好,也不很坏。然而,1948 年发明了晶体管,人们才认识了半导体的特殊价值。它们的价值在于具有能变换为多种电子设备的潜在能力,这些设备包括二极管、晶体管和微处理机,它们都是开展中的电子工业革命的基础。

半导体一般可分为两类:本征半导体和杂质半导体。本征半导体的化学成分很纯,它的电导率很低。常用的本征半导体是硅、锗和砷化镓的单晶体。加入小量的杂质后,它们可以转变为更有用的杂质半导体。这个过程称为掺杂,它改变半导体的电性质并改进它的导电性能。

例如,本征半导体如硅元素的原子,在它的最外层电子壳层上有 4 个电子。这些电子把硅原子连结到周围的原子上,因此电子不能在固体内自由运动。由于电流依靠电荷的运动,所以纯硅是不良的导电体。如果具有 5 个最外层电子的磷原子取代了一些硅原子,这第 5 个电子对结合邻近的原子来说,是不需要的,因此可在固体内自由运动。所以,把磷掺入硅,改进了硅的导电性能。其他原子如硼也用于掺杂,它的最外层电子比硅少 1 个。当它们取代一些硅原子后,每个硼原子将从周围的硅原子中俘获 1 个电子,留下 1 个空的位置,称为空穴。这些空穴像自由运动的带正电荷的粒子那样,增加了硅的电导率。杂质半导体通常分为 n 型和 p 型,这取决于加入的杂质有超额负电荷(n 型)或负电荷不足(p 型)。

晶体 CRYSTALS

古希腊使用 krystallos 这个词表示冰和水晶。他们认为水晶只是另一种形式的冰,即变成了永恒固体的冰。在今日世界中,晶体通常认为是具有对称排列的平面(它们有平直的交线和尖锐的交角)的固体。每个人都看见过晶体。钻石、雪花、岩盐是其中最常见的。

晶体的科学定义基于它的内部结构,而不重视它的外貌。地球上的全部物质由原子或更经常地由原子组成的分子构成(见:**物质**)。如果物质的分子以重复的规则的格式排列,这个物质就是晶体。一再重复的小晶格称为晶胞。许多晶胞在各个方面排列成行所构成的三维图像称为晶体点阵。晶体的形状取决于它的内部的分子的排列。如以氯化钠(食盐)为例,它的分子按正方格式排列,使得氯化钠晶体具有正方体的外形。

在固体物理学中,只有晶态固体才被认为真正的固体。例如岩石、玻璃、尘粒、混凝土、木料、沥青、塑料和金属丝——一切显而易见的固体——看上去都不像晶体,这又是为什么呢?

某些似乎是固体的物质——各种玻璃、沥青和一些塑料——并非真固体而是流动很慢的液体。它们没有固定的熔点。升高温度只是使它们更易于流动,这样它们看上去更像液体。

一些像岩石、尘粒、混凝土等物质是真固体,但看上去不像有对称的晶体形式。这是由于它们是几种不同固体的混合物。多种有机物质——木料、小麦和羊毛等,是复杂的混合物,含有长的分子链。一些较简单的有机化合物甚至一些病毒,常具有晶体结构。

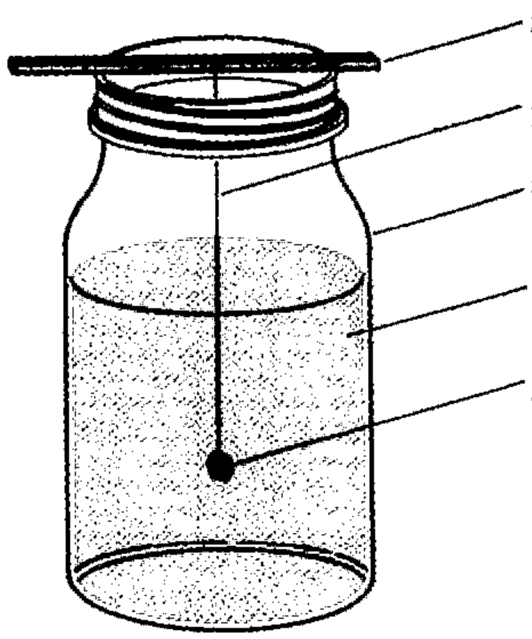
一些固体物质,如金属、盐和火药,不符合对晶体的通常见解,但符合科学定义。符合对晶体通常见解的固体都是大的单晶体。在单晶体中,晶格的同一取向扩及整个样品。这样,单个晶胞的对称排列能够显现在晶体的全貌上。

通常的固体大部分是多晶体。它们的分子在晶格中规则排列,但只扩及一个小区域,称为晶粒。晶粒所显示的对称性和大单晶一样。

在家庭中生长晶体

早期对晶体结构的研究局限在自然生长的单晶体,例如珍贵的和不太珍贵的宝石。现在有可能制作人工合成单晶体,它们常比自然晶体更大和更纯。有多种制备它们的方法,全部都能使用籽晶的生长过程。籽晶是一个小的单晶体,更多的同一物质的分子沉降在它的上面,晶体便长大了。

生长晶体的方法之一被称为溶液生长法。它是家庭中最容易做到的生长大晶体的方法。这个方法的主要窍门是使溶剂缓慢地蒸发。这通常意味着要使它无干扰地放上几天。



上图是在家中生长晶体的基本设备。溶解在水内的糖分子淀积在小的糖晶体上。

一些家用的化学物如明矾、食盐、硼砂和糖都可做这个实验。硼砂的效果最好，但其他物质更易于取得。专业的指导和测量可在晶体和晶体生长的读物中找到。然而，基本工序对大部分溶解于水的晶体来说是相同的。

这些物质倒入热水中并搅拌直到不能再溶解为止。这个溶液称饱和溶液。将部分溶液倒入瓶中，静置几天，直到部分水分蒸发并在瓶底形成几个大晶体。其中一个较大的晶体可选作籽晶。用细线悬挂放入新的饱和溶液。新溶液必须冷下去，否则它会溶化这块籽晶。

工业用单晶体

用来制作工业用的晶体的技术之一，是从熔液中生长。籽晶可用来促进单晶体的形成。在这个工序里，籽晶降落到装有熔融物质的容器中。籽晶周围的熔液冷却，它的分子就依附在籽晶上。这些新的晶体分子承接籽晶的取向，形成了一个大的单晶体。蓝宝石和红宝石的基本成分是氧化铝，它的熔点高，制成一个盛装它的熔液的容器是困难的。人工合成蓝宝石和红宝石是用维尔纳叶法（焰熔法）制成，即将氧化铝粉和少量上色用的钛、铁或铬粉，通过火焰下滴到籽晶上。火焰将粉熔解，然后在籽晶上重新结晶。

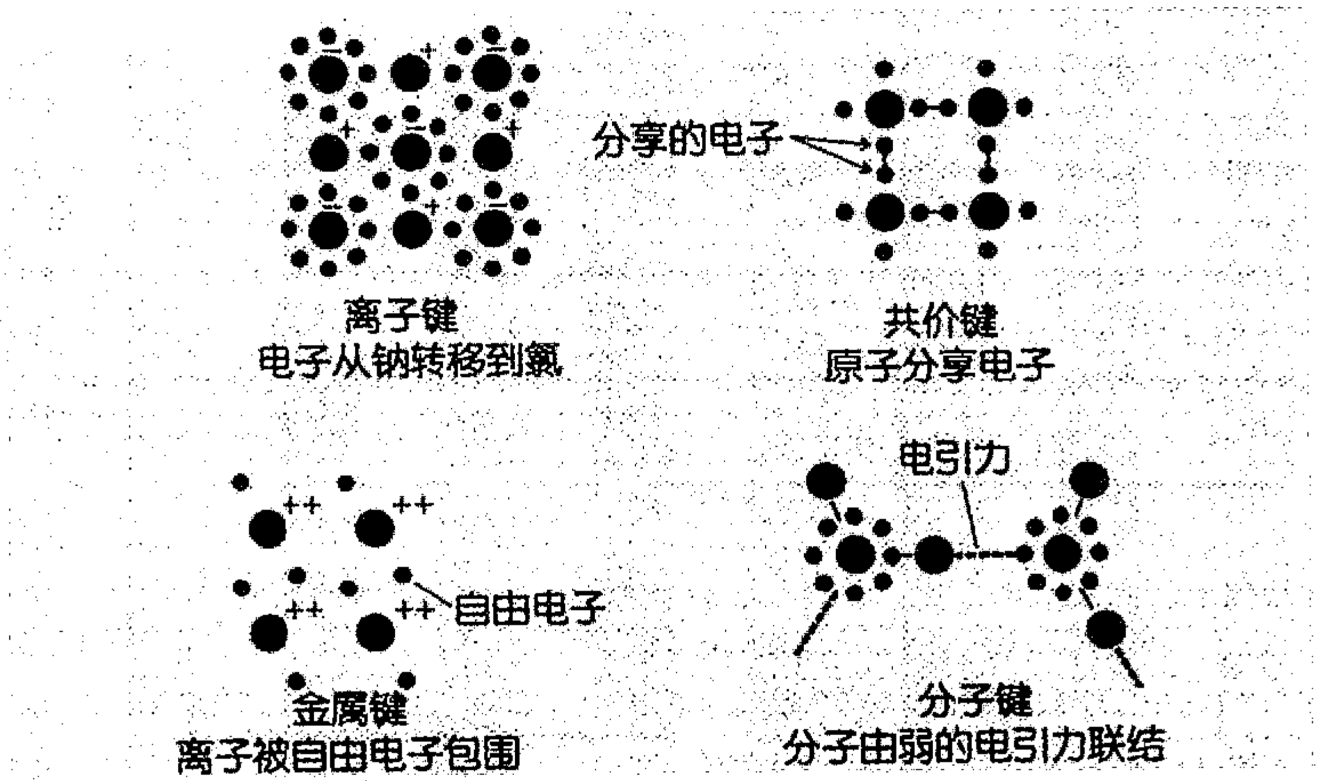
生长人造钻石需要高于 1 600℃ 的温度和 60 000 倍大气压。人造钻石砂粒小且黑，它们适宜工业应用。

区域熔化过程用来纯化半导体工业中的硅晶体。一个单晶体垂直悬挂在硅棒的顶端上。在两者接触处加热，棒的顶端熔化，并在单晶体上重结晶，然后将加热处慢慢地沿棒下移。

晶体种类

晶体的一些性质取决于将分子联结成固体的结合力。这些力通常涉及原子或分子的最外层的电子（或称价电子）的相互作用。如果结合力强，晶体有较高的熔点。如果它们稍弱一些，晶体将有较低的熔点，也可能较易弯曲和变形。如果它们很弱，晶体只能在很低温度下形成，此时分子可利用的能量不多。

有四种主要的晶体键。离子晶体由正离子和负离子构成，靠不同电荷之间的引力结合在一起。氯化钠是离子晶体的一例。共价晶体的原子或分子共享它们的价电子。钻石、锗和硅是重要的共价晶体。金属的原子变为离子，被自由的价电子所包围，它们能够容易地从一个原子运动到另一个原子。当这些电子全在同一方向运动时，它们的运动称为电流。分子晶体的分子完全不分享它们的电子。它们的结合是由于从分子的一端到另一端电场有微小的变动。因为这个结合力很弱，这些晶体在很低的温度下就熔化。典型的分子结晶如固态氧和冰。（参见：**化学**）



在离子晶体中，电子从一个原子转移到另一个原子。共价晶体的原子分享它们的价电子。金属原子释放一些电子在四周自由地运动，分子晶体中每个分子的一端有少量的负电荷，另一端有少量的正电荷。一个弱的电引力使分子就位。

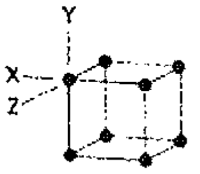
晶体结构和晶体学

在 16 世纪后期，晶体结构的最初理论之一有所进展，当时利巴威斯提出研究矿物盐的晶粒形状可认定这些物质。1669 年，斯蒂诺观察到同一物质的两个晶体的对应角永远相同。约在一世纪之后，阿维发现冰洲石碎裂成片，虽大小不同，却具同一形状。他猜想晶体的可能最小的碎片就是这个样子的，并进一步提出全部晶体都是相同的碎片或砌块构成的。现在把这种砌块称为原胞（单元晶胞）。现在知道这些晶体不是微小固体砌块，而是原子和分子的几何学排列。

晶体的性质和原子在晶格中的排列的对称性有关，按几何学意义，一个图形在运动中看上去像不动似的，这个图形就是对称的。不同类别的对称是由物体可能在运动中保持形状不变的途径来定义的。反射对称或双向对称可能是最熟悉的一种对称。一个物体具有通过一个平面的反射对

称，即对平面一边的任一点，在平面的另一边的对应位置上有一个完全一样的点。换句话说，如果物体的一半是另一半的镜像，这个物体就是双向对称的。

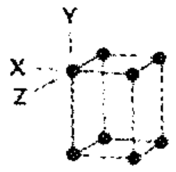
七个初基晶体系统



立方

全部三个轴等长，且互相垂直。

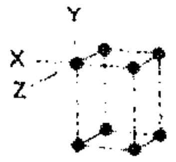
两个变型：体心立方有一个阵点在单元晶胞的中心。面心立方在晶胞的每一面的中心都有一个阵点。



四方

三轴中两轴等长，三轴互相垂直。

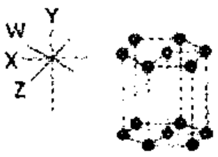
一个变型：体心四方有一阵点在单元晶胞中心。



正交

三轴不等长，彼此互相垂直。

三个变型：体心正交有一个阵点在单元晶胞中心。基心正交在两端平面中心各有一个阵点。面心正交在每个面的中心都有一个阵点。



六方

四个轴中，三个等长，并以等角度分离，在同一个平面上。第四个轴垂直其他三个轴所在的平面。六方晶胞在两个六边形平面的任一个中心，都有阵点。

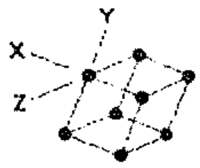
无变型



三斜

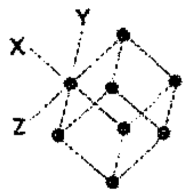
三个轴不等长，也不互相垂直。

无变型



单斜

三个轴全不等长，两个轴互相垂直。有一个变型：基心单斜的两个端面的任一个中心都有阵点。



菱形

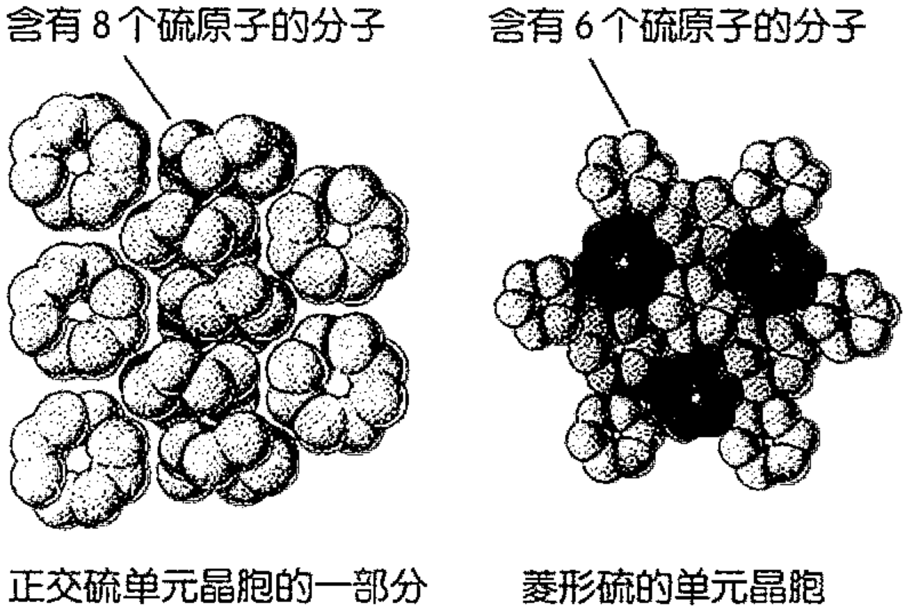
三个轴全等长，互相都不垂直，但晶体面的大小和形状都相同。

无变型

平移对称性是晶体结构的基本对称性。一个物体沿直线移动一段距离，看上去并无变化。这样的物体有规则的反复重现的形象。单个图形不可能具有平移对称性。但是规则的反复出现的形象，例如砖墙，花纹地板和晶体点阵具有平移对称性。点阵还能够具有其他对称性，但它们成为点阵必须具备平移对称性。当单元晶胞具有其他对称性时，晶胞在整个点阵中重复，具有放大这些对称性的效果，使这些对称性显示在肉眼可见的晶体上。

转动的或径向的对称是另一种重要的对称。一个正方形绕它的中心转动 90°后看上去和未转动一样，但如转动 120°，它的方位就变了。它具有转动 90°的径向对称，但没有转动 120°的。用专业语言，正方形有对称的转动的四重轴（$4\times90°=360°$），但没有三重轴（$3\times120°=360°$）。海星有对称的五重轴。

晶体点阵决不可能像海星那样，具有五重对称轴，因为正五边形不可能配合成全方位都平滑的图形。因此，如果地板是用正五角形瓷砖拼成，这个瓷砖地板必然有空隙。仅仅是具有一重、二重、三重、四重、六重转动对称的晶体能够有平移对称性。晶体对称性恰好有 230 个可能的组合能够顺应三维点阵。可将它们分成七个晶体系统——立方、四方、正交、六方、三斜、单斜和菱形。



正交硫在点阵的每个点上有 8 个硫原子组成的环。菱形硫有 6 个成员的环。

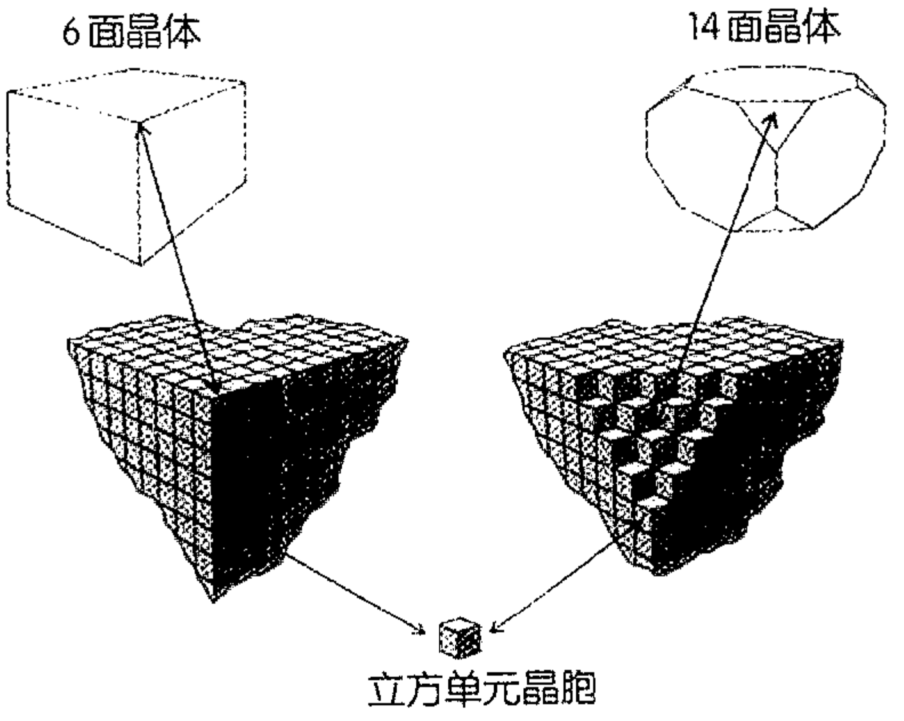
一个指定的晶体属于哪个系统呢？这对氯化钠晶体易于确定，它有立方单元晶胞和立方结晶。但一些晶体不沿着单元晶胞的边面而沿着其他平面剖开。氟化钙的基本单元是立方的，但它的矿石通常裂成八面体结晶。

1912 年，劳厄证明晶体衍射 X 射线。原子有序地排列在晶体结构中，所散射的 X 射线在某个方向上互相加强。照相底片置于这些散射的 X 射线的途径上，将显示出对每个晶体结构的不同的光点图像。这些图像揭示了这个晶体内的原子的排列。更近的年代里，米勒发明场离子显微镜以观察晶体。这个设备使人们能够真正看到晶体表面上单个原子的位置。

晶体的性质

金属的电阻受到它接近晶体结构的完善程度的影响。当正离子处于规则点阵的一角时，它们不散射电流中的电子。如果离子不在规则点阵的位置上，就要散射电子，不规则的晶体如合金黄铜和不锈钢是相对的不良电子导体。而纯铜和纯银是远比它们为好的导体。

压电现象是直接从晶体结构引起的。某些晶体在受到



立方单元晶体能够构成一个立方晶体(左图)或构成一个更复杂的结构(右图)。

压缩或拉伸时就出现电极化。相反地,在电场的影响下,它们会变形。这些压电晶体用于一些收音机的耳机把电能转换为机械能,也用于电唱机的拾声器,将机械能转换为电能。

压电效应取决于缺少一种对称——反演对称。图形的反演有点像它的镜中像把上下颠倒。如果一个图形,例如一个立方体,它和它的反演像看上去是一样的,这个图形就有反演对称。如果是四面体,看上去就不一样了,这个图形就没有反演对称性。缺少反演对称性的晶体通常能被压缩,使得原子的正负电荷的位移不相等,就产生了电场。

晶体的不完整性

完全没有缺陷的晶体是不存在的。某些缺陷是产生晶体许多观察到的晶体性质的原因。控制——但不消除——缺陷是固体物理学的一项主要技术。

空位是点阵中失去原子和离子的位置。杂质原子或离子可以占据这个空位。这形成了替代式杂质。晶体的许多光学性质,例如着色就由于这类缺陷。

杂质离子或原子也可能占据阵点间的一个位置。这形成了填隙式杂质。一个已经离开规则点阵原位的原子也可占据一个填隙位置。

有时,晶体中的一个原子或离子的价电子或多或少于应有的份额。如果有多余电子,这个缺陷简单地称为电子;如果失去电子,这个缺陷就称为空穴。在半导体设备的运行中,电子和空穴起了重要作用。

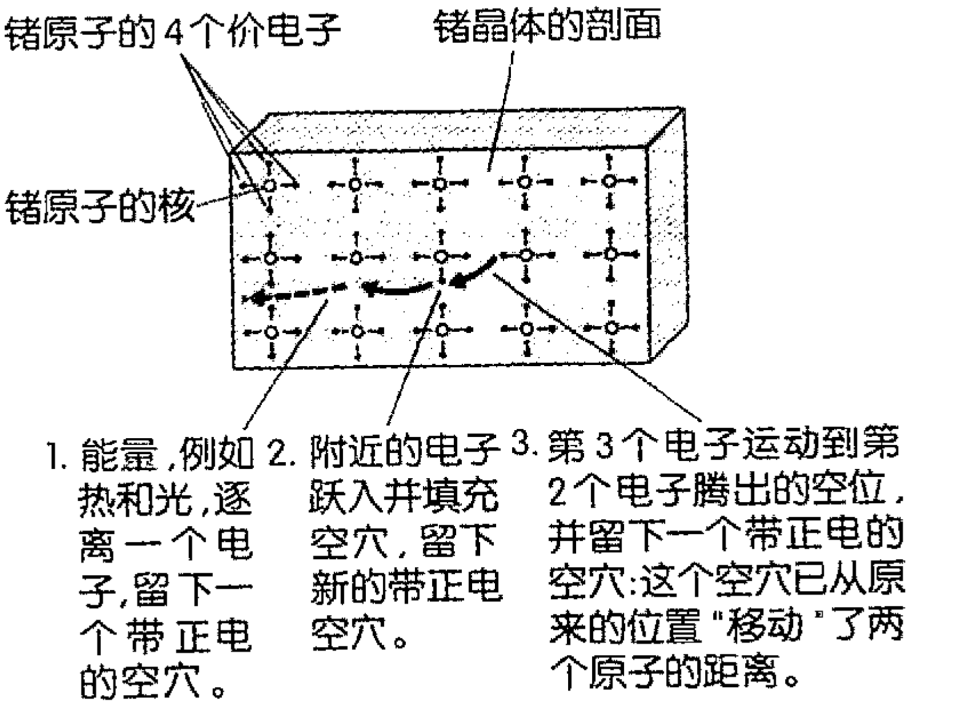
刃型位错是一个额外的原子平面部分地伸入晶体中。它使晶体平面易于滑移,弱化了晶体。把杂质引入金属的晶体点阵常能增加金属的强度。杂质原子填满了位错周围的空隙,阻止了位错的运动。

螺型位错被认为可用来解释晶体的生长。晶体中一个平面上的一列原子和在其上的平面的原子相联。这使晶体表面上出现螺旋花纹。理论上晶体不能像实际情况下长得那样快,因为当长满一个平面后,要起动一个新平面是困难的。螺型位错的存在意味着平面永远不会长满。

半导体

晶体管和相关联的半导体设备的发展彻底革新了电子工业。这些设备常含有替代性杂质。两类最常用的半导体是硅和锗。这两个元素都有4个价电子,每个价电子都在共价键中和邻近原子共享。在硅半导体中,硅原子之一可由一个砷原子替代,后者有5个价电子。形成4个共价键后,留下一个电子。在常温下这个余剩的电子在晶体内可自由运动。如果部分晶体有许多砷杂质,这个区域就称为n-型(负电荷)硅。这个漂游电子的行为就和金属中的自由电子相似。

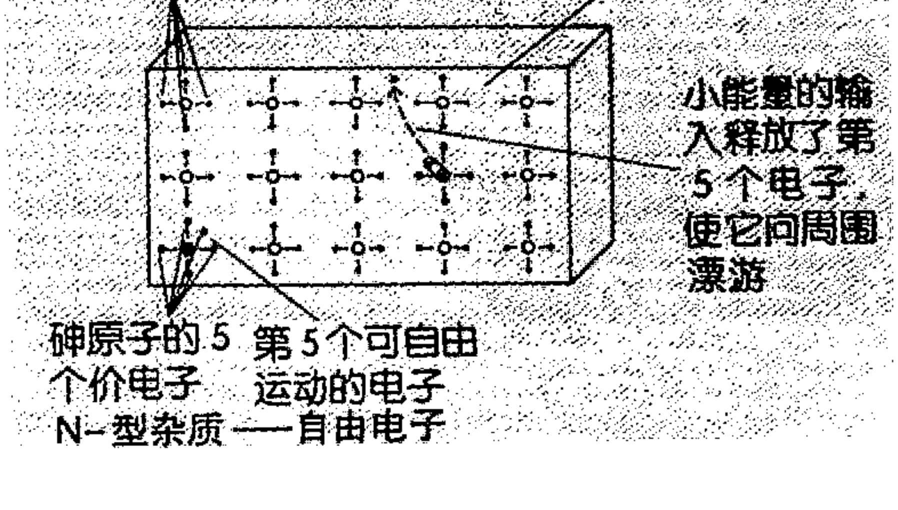
另一方面,如果硅原子被硼原子替代,硼原子有3个价电子,在一个共价键中缺一个电子,留下一个空穴。这个空穴也能在周围运动,就如自由电子那样。含有硼杂质的区域称为p-型硅,因为空穴的行为像带正电的粒子。

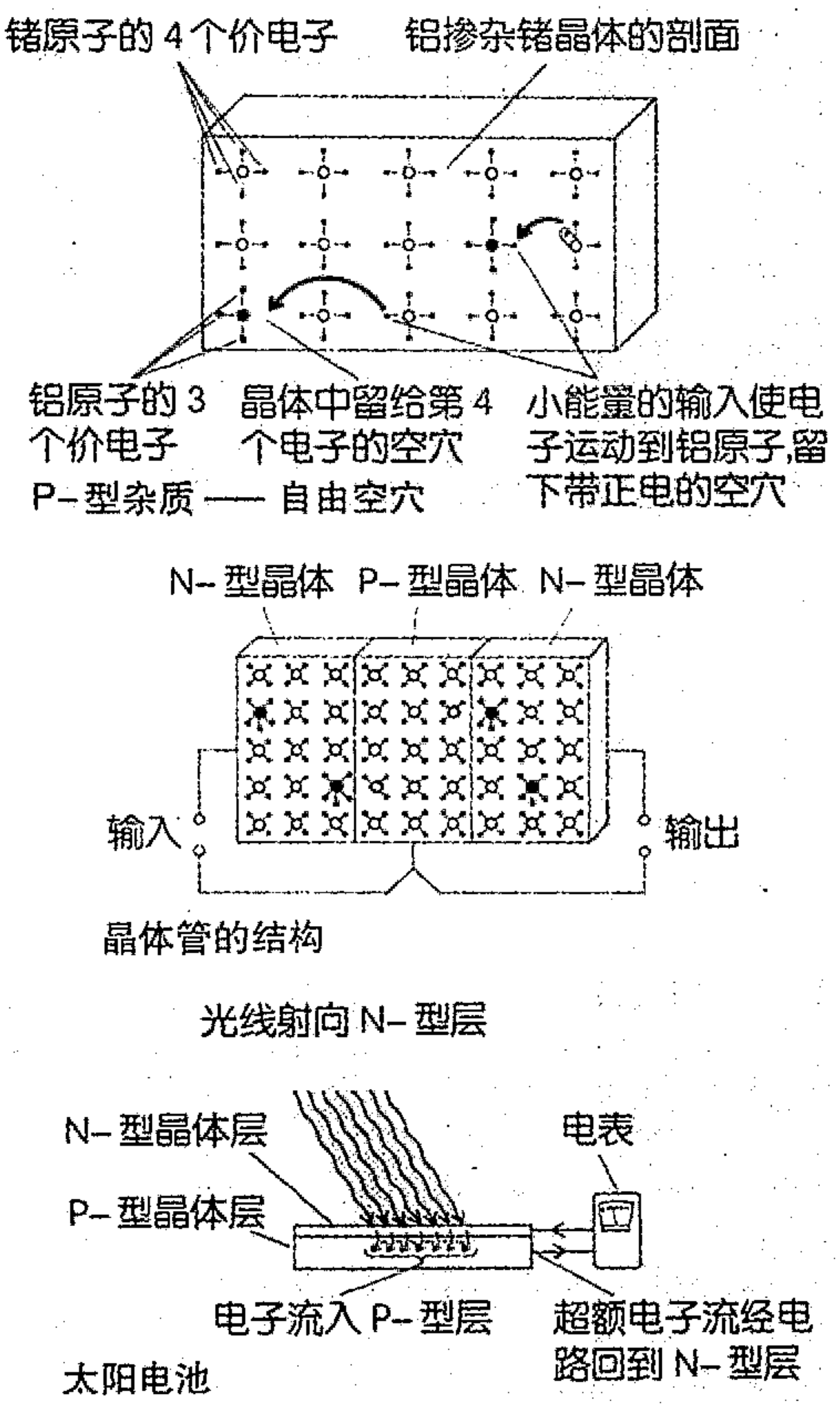


空穴的移动

带正电的空穴的运动方向与电子运动的方向相反,能够加强半导体中的电流。

硅或锗的单晶体的生成,可采用n型区和p型区相间的方式。n-型和p-型间的过渡区称为p-n结。它只能单向导电。这个性质可用来使交流电转变成直流电。晶体管内有两个背对背的p-n结。它们能放大电信号。在太阳电池中,它能将太阳能转换成电能,可制成吸收大面积太阳能的p-n结。(参见:固体物理学)





晶体管和太阳电池的运作,有赖于两类半导体的存在:n型,在晶体点阵中有多余电子;p型,有空穴或在点阵位置上缺少电子。

撰文:Dr. Robert A. Levy

液晶 LIQUID CRYSTALS

某些物质不能直接熔化成一种典型的液体,而是经过一个像液体那样能流动但具有许多固体特性的阶段。在这个阶段的物质是一种液晶。

大部分物质当加热到它们的熔点时将从固体变为液体。当材料达到它们的熔点时,维持材料晶体结构(见:晶体)的所有力将被克服,材料的全部分子将变得能自由翻动和互相移动,形成的这种完全任意和无规则运动的状态是一种真正液体的特性。

对于能形成液晶的化合物,在不同温度下其熔化过程包含两个或更多的阶段。这些物质在固态时有些结构力比其他物质牢固。分子在层或片内互相紧密结合,但层与层之间的吸引力相当弱。在熔融的第一阶段,温度足够使层与层分开,但不能将分子层破裂成单独的分子。当分子层变成能自由滑动时,物质变成流动的,但分子间仍互相紧密连接,保持某些固体性质,这是物质成为液晶的条件。

迄今已发现几种液晶结构类型。许多化合物在熔化的开始和最后阶段间只存在一个这种形式,但其他物质则在升高温度的过程中发生一系列有序状态逐步减弱的变化。由加热固体生成的液晶叫热致液晶。

大部分固体能溶于另一种液体物质变成液体。在正常情况下,这种从固体晶体变成溶解态只在一步过程发生,就像大部分熔融那样,但有一类化合物存在明显的阶段,这些化合物也形成键合分子的分子层,溶化的液体在分子层间移动比在构成分子层的分子间移动要容易。当分子层因此互相分离,固体的有序结构部分破裂,形成混浊流体,叫溶致液晶。

含有长而薄的分子的化合物易形成液晶,这些分子含有一些原子团,这些基团使分子挺直像棒,当它们成行排在一起时,互相有较强的吸引力。

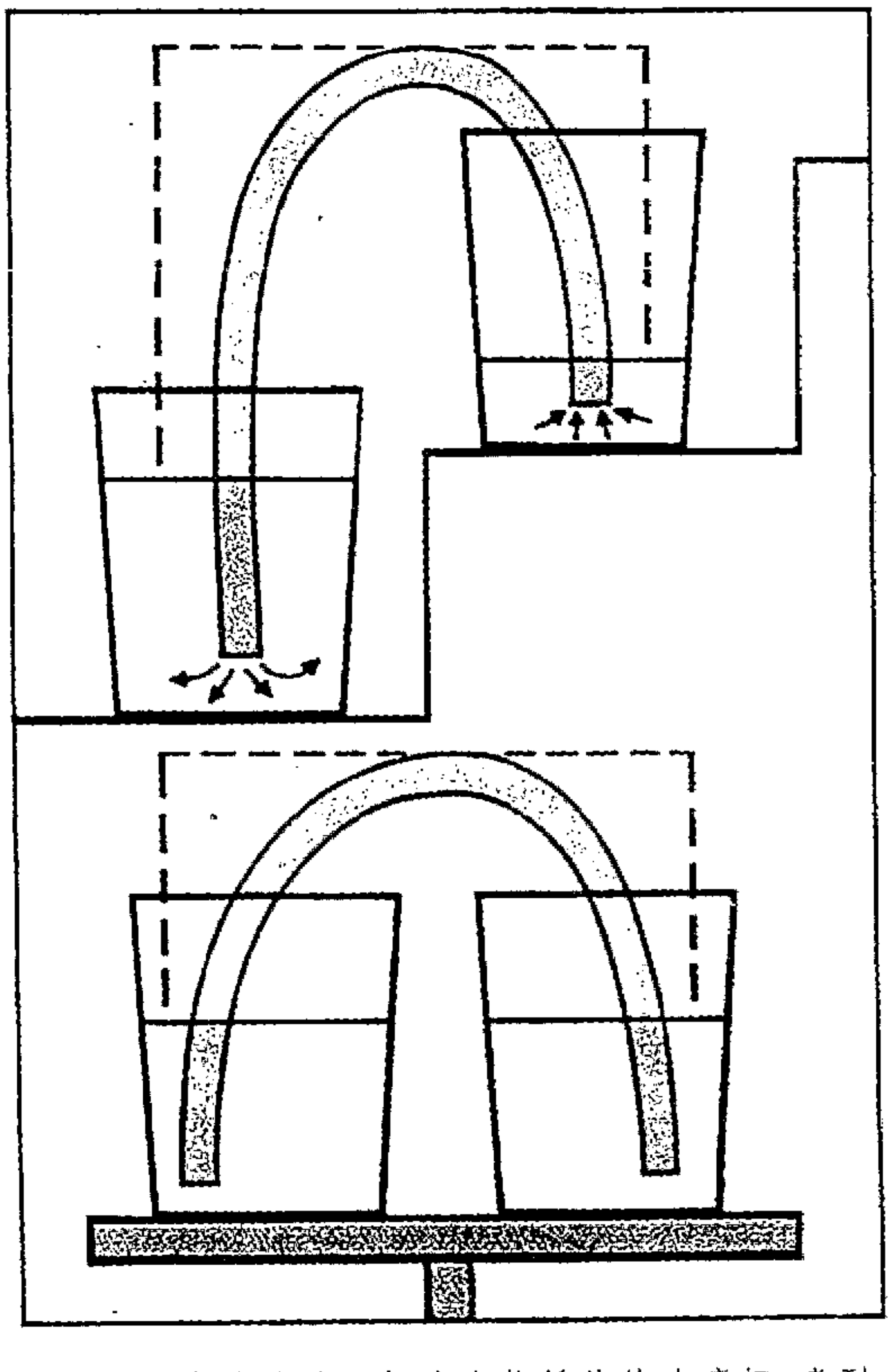
有些液晶在光照时能使偏振光的轴旋转(见:光)。在弱电场存在下这种性质消失。用这些化合物做成的薄层可用于数字显示,广泛用于数字手表、计算机,也在袖珍电视机中用作图像屏幕。

液体 LIQUID

见:物质

虹吸管 SIPHON

能否不倾翻玻璃杯而将水倒



水将从较高处的玻璃杯流向较低处的玻璃杯,直到两杯中的水面一样平,或者管子较高一端不再浸入水内;或者较高的玻璃杯空了。在下图中,液体保持静止,因为两玻璃杯的水面处于同一高度。

空？使用虹吸管就容易做到。在一般的教室里就能演示虹吸管如何工作：给橡皮管灌满了水，管的一端放在桌上盛水的容器中，另一端放在位置较低的水桶内。水就从容器流向水桶。

虹吸管是弯曲成两臂不等长的管子，它用来将液体从较高处流向较低处。虹吸作用有赖于重力的影响（并非如通常想像那样，由于大气压强的不同——在真空中虹吸管照常工作）和内聚力的作用，内聚力阻止液柱在本身重量的影响下断裂。口径均匀的虹吸管的短臂中数量较少的水，被长臂中数量较大的水的重量所曳走。

长臂中的水将向外流出，使两臂中的水的重量保持平衡，虹吸就起动了。这形成了暂时的真空，但立即被水充满，因为管子两端的水的压强不同，水很快地被吸入短管内。液体继续流动，直到下列情况之一出现：高处的容器空了；容器中两个水平面等高了；或空气进人了管子的短端。

虹吸原理常用于土木工程中。如超越山谷把水从水槽送到居民中心，也用于多种工业的管道系统中。

液态空气 LIQUID AIR 见：低温学

胶体 COLLOID

许多普通物质由固体粒子、液体微滴或气泡组成，它们比正常分子大，但远比肉眼所能见到的小，甚至用大部分显微镜也难检测。这些粒子的大小约在 10^{-7}-10^{-3} 厘米之间。通常这种叫作胶体的微小物质分散于另一种材料中。

许多食物都是胶体，地球的表土层也是。其他常见的胶体有合成塑料、纤维和橡胶，它们是由与胶体粒子一样大的分子组成。在生物学中，对蛋白质、染色体、基因和一些病毒的研究也涉及胶体粒子的行为。

蛋黄酱是乳状液胶体的最好例子，这是由油、水和蛋黄三种液体组成，另加一些调味品。水和油本来不能很好混合，如果将它们搅打在一起也会很快分开，当加入蛋黄时，蛋黄中的蛋白质在每个油滴周围形成一层薄膜，如果继续用水分子撞击，就能使油滴维持足够的微小，防止它们结合并升至顶部。雾是一种气溶胶，它是由空气中的水分子冷凝成的微滴，肉眼看不见，但能折射或散射光线，只要水滴保持足够微小，它们相互间以及与空气分子的撞击就能使它们不落向地面。

胶体分类*

分散相	分散介质	体系名称	举例
液体	气体	气溶胶	雾
固体	气体	固体气溶胶	烟
气体	液体	泡沫	搅打过的奶油
液体	液体	乳状液	蛋黄酱、牛奶
固体	液体	溶胶	油漆、墨水
气体	固体	固体泡沫	泡沫橡胶、果汁软糖
液体	固体	凝胶	明胶、乳酪
固体	固体	固体溶胶	有色宝石、一些合金

*此表出示物质三态（固态、液态、气态）中任何两态混合成胶体的情况。同一态（气体除外）的物质也能混合成胶体。

当一个胶体由一种物质粒子混人另一种物质粒子而构成时，则混人的物质叫分散相，容纳的物质叫分散介质。混合物的性质由分散相粒子的大小和粒子间不断互相碰撞的行径确定。

冰 ICE

当液态水或水蒸气变得足够冷，它就变成固态水，称做冰。冰由各种形状的结晶体组成，液态水凝固成六面针状结晶体，水蒸气按照温度高低可能形成针状、片状或空心棱晶体。冻结水的个别晶体叫冰晶，通过生长和交错，直到整个水变成一个固体。

大部分液体在凝固时体积收缩，但水却膨胀。当冰在池塘、河流和湖泊生成时，它浮在水面形成一个表面层，使下面的水不结冰，冰层下的有些鱼类和其他水生动物能继续生存。

水蒸气通常在如灰尘那样微小的固体粒子周围结晶，在完全清洁的空气中，即使低于水的正常凝固点（0℃），水蒸气只是过冷而不结冰。在-40℃或更低时，即使没有灰尘颗粒，水蒸气也会结冰。飞机飞过过冷空气时能促使蒸气变成冰。高速飞行飞机后面的雾状尾迹不是冰，主要是发动机排到空气中的超额水蒸气。

卷云由水蒸气冻结的微小颗粒组成。如果空气中有足够的水蒸气，这些结晶体就会生长成复杂形状的雪花。冰雹只是部分熔化又重新冻结的雪的晶体。（参见：**水**）

空气 AIR

在多得数不清的工作中，从高炉的运转到给轮胎打气，人们都利用了空气。飞机和风筝要有空气才能飞。打雷和击掌要有空气人才听得见。人和动物没有空气都会死亡。树木和花草的生存也离不开空气。

人类活着的时候，每秒钟都与空气接触。我们周围到处是空气，它作为地球的大气一直延伸到许多千米的高空（见：**大气**）。有的时候遇上刮风天，人们会觉得空气在扑打他们的皮肤。风在怒吼的时候，或者轮胎爆破的时候，人们可以听到空气的运动。但是多数时间，人们完全意识不到空气的存在，因为空气既没有颜色、味道，也没有气味。人们甚至认为一个装满空气的容器是空的。

空气是什么？

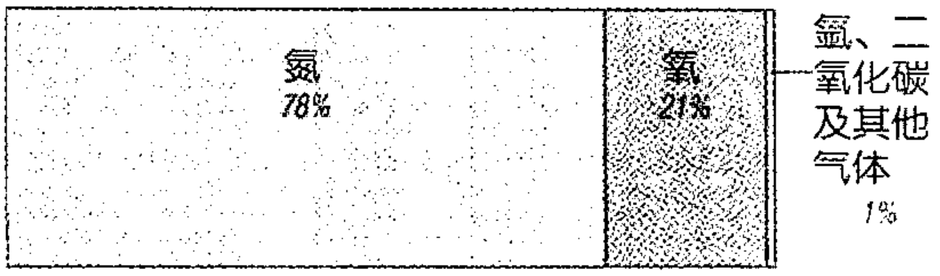
这个称为空气的看不见的物质实际上是几种气体的混合物。每种气体都以称为分子的分散的、微小的单位的形式存在于空气之中（见：**分子**）。分子太小，人们看不见它，但是它们是以惊人巨大的数量存在着的。科学家估计每立方厘米普通的空气中含有的气体分子数量约为 10^{19}。然而分子之间还有富裕的空间，因为它们实在太小了。

在平常的情况下，每个分子的能量都足够以每小时1 600千米的速度射向空间。可是只有非常少的分子能够以这种速度直线运动奔向远方。原因之一是尽管它们速度极高，地球的引力还是把大部分分子收拢在距离地面几公里的范围以内。它们在这个范围内飞行，彼此以极高的频率相互碰撞。一般情况下，在离地面不远的空间里，每个分子与别的分子碰撞的次数达到每秒 50 亿次。

组成空气的元素

氮和氧这两种不同元素的分子合起来大约占空气的99%。剩下的1%包括少量的氩和二氧化碳。(其他气体如氖、氦、甲烷只以痕量存在。)

组成空气的气体



参与组成空气的除了氮、氧、氩和二氧化碳以外，还有痕量的氢、氖、氪、氙、臭氧、氦。

氧是空气中赋予生命的元素。它帮助植物制造食物。氧支持燃烧以及物质中其他化学变化。它也使金属生锈。(参见:氧)

某些氮的化合物帮助建造生物体的组织。氮也稀释空气中的氧。植物、人类、动物习惯于稀释的混合气体，要是让他们生活在纯氧里，他们很快就会被“烧掉”。生命界确实很快会烧起来，因为在纯氧条件下，每一个火星或闪电的火花，都将燃起熊熊大火。(参见:氮)

氧和碳的结合形成二氧化碳。一切燃烧都产生二氧化碳，人类和动物的身体也同样产生二氧化碳。他们在每次呼气的时候，都排出二氧化碳。植物利用二氧化碳制造食物，并把氧退还给空气。它们就这样连续不断地更新氧的补给。

多数空气含有水汽。水汽的量的多少随时随地有很大的差异。空气里还有微尘、花粉、孢子、细菌，以及其他少量固体和液体的物质。

空气的性质

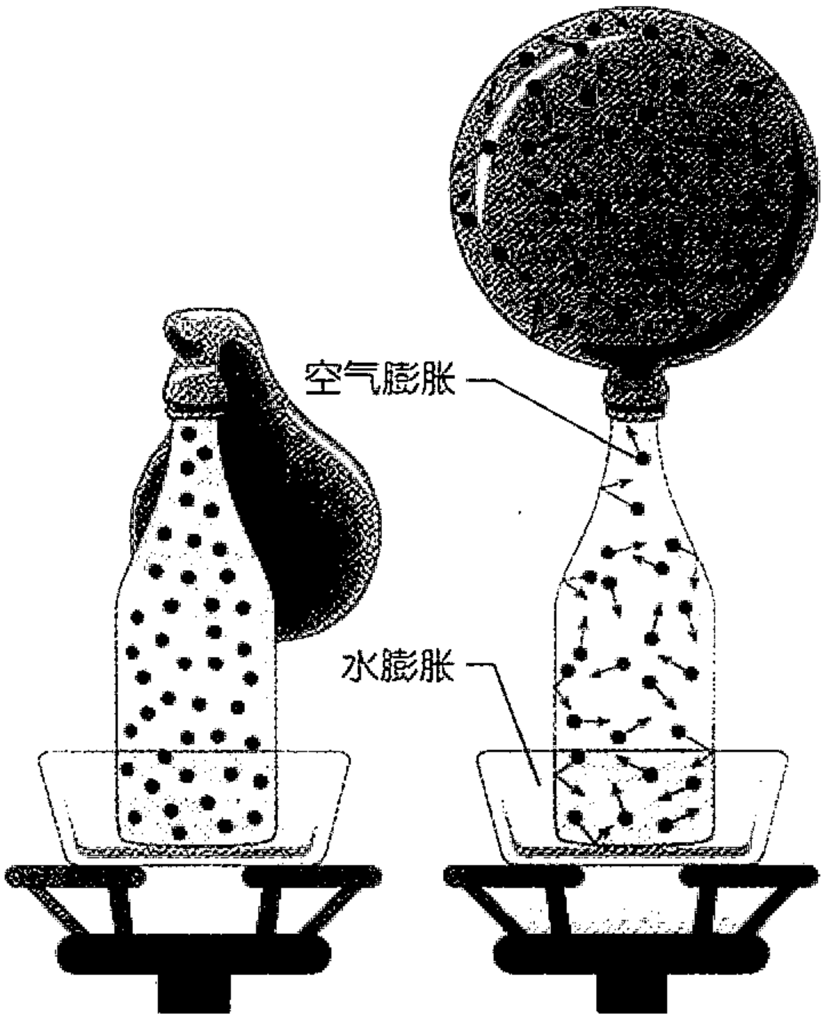
空气可以大大地压缩。一幢房子里的全部空气可以压缩在一个小罐子里。另一方面，空气差不多又可以无限地扩散。如果把一幢房子里的全部空气都排出去，然后放进去 0.03 立方米的空气，这点空气能够在整幢房子里扩散开来。

空气有弹性是因为它是一团飞动的分子。空气可以被压缩，因为在分子与分子之间有很大的空间。压强只不过把分子往一起挤拢了一些。一团空气也可以扩散开来，充满分子较少的任何空间。相互撞击的分子所做的不过是扩张而已。

空气中的分子虽然非常之小，但是它们仍旧是有重量的，而且它们的数量是很大的。因此，任何一定量的空气都有重量。海平面标准气压和常温——760 毫米水银柱，摄氏 15℃——条件下 0.03 立方米空气重约 0.0367 千克。

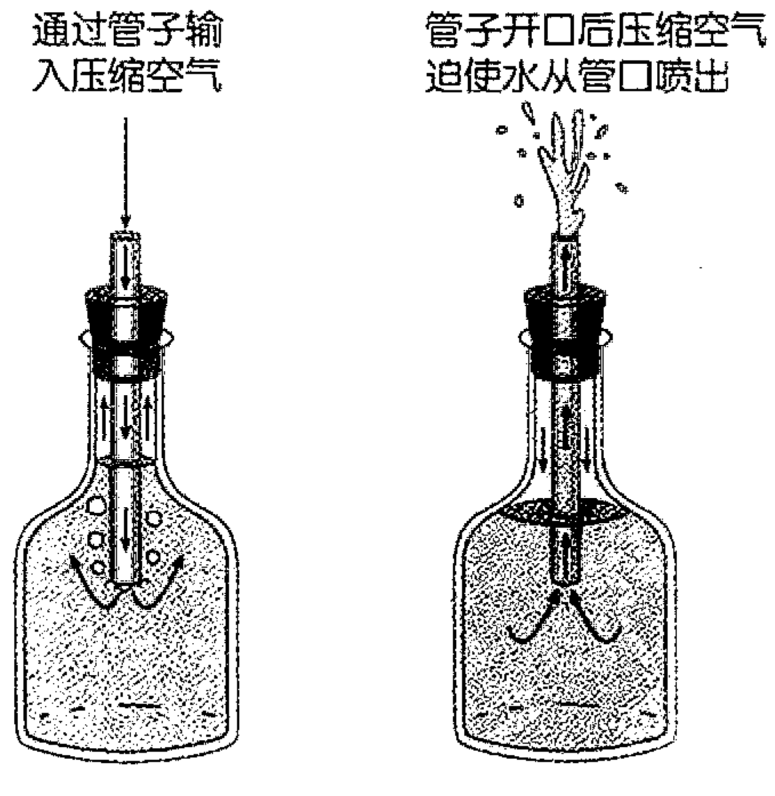
真空是指抽走了包括空气在内的一切物质的空间。绝对或完全的真空(内压强为零)在许多理论研究方面是个有用的概念。然而实际上并没有一种仪器能将一个密封容器里的空气全部抽干净。一个其中的空气几乎全部被抽走了的压力极低的有限的空间称为高真空。高真空技术和压缩空气仪器在工厂和实验室里有许多用途。

空气受热膨胀



加热使瓶内空气膨胀。好像空气需要更大的空间，它流进气球，使气球胀大。

压缩空气造成喷泉



空气进入封闭的瓶里，然后打开瓶口。通过这个实验，可以看到压缩空气的压强作用。

压缩空气

压气机大量应用于家庭和工业。用来给自行车轮胎打

气的气筒就是一类简单的压气机。要想证明空气有重量，可以把一个篮球里的气放掉，直到球完全变软为止。把它放在一个精密的天平上称。然后给球打气，到它发硬后再称它的重量。它会比原来重，这个增加的重量就是后来打进去的空气的重量。同样地，给汽车轮胎打进去的空气（它在轮胎压力计上显示高于零的压力）加重了轮胎的分量。

压缩空气在制造业中有广泛的用途。它用来喷涂油漆、用于洗衣机和干洗机，用于热控制装置。压缩空气为许多小工具如磨床、钻机、扳手、卷扬机提供动力。石料的雕刻可以使用压缩空气喷气法。装瓶车间用压缩空气操作填料机器。铸造厂以压缩空气为动力进行提升作业，为铸模、型芯和工具清砂。压缩空气在铁路上也有很多用途，它操作气控道岔和气刹车。空气受到压缩而且降到极低的温度的时候，它就成为液体。（见：**低温学**）

空气污染

空气污染有多方面的来源，汽车里的汽油在燃烧的时候产生有害的气体和废物。形形色色的工厂里释放出来的千百万个微粒也进入空气。化工厂产生的气态的副产品在浓度达到一定程度的时候是有害的。随着世界工业化的程度越来越高，空气污染普遍加重，产生了许多新的危害健康的危险。

关于大气压强的演示

可以利用几乎任何家庭里都能找到的材料来进行许多有趣的关于空气的实验。例如把一张纸放在一个装满水的玻璃杯上面。用手紧紧摁住这张纸，把杯子上下翻个身。这个时候即使不用手摁住那张纸了，水也不会从杯子里出来。这是因为纸防碍了空气进入杯子。如果水流走了，杯子里将成为真空了。这个实验表明空气对纸的压力比水的重量大。

为了说明在一定条件下空气压力的加大，可以将一个橡皮气球套在一个空的汽水瓶的瓶口，紧紧地扎牢瓶颈，把空瓶放到装着热水的锅里，把锅放在火上，同时加热锅里的水、瓶子和瓶子里的空气。空气一经加热，它就膨胀，充满了气球。

有一个实验可以证明空气压强的威力。在一个开口的罐头里放一杯水，将水烧开。热的蒸气扩散开来，有些蒸气离开了罐头。小心地盖紧罐头，造成密闭的状况，不让它透气。然后把罐头放进水槽，浸在冷水里。罐头里的水汽因此收缩，产生了真空。外界的空气压力就会压迫罐头，使它变形。

压缩空气造成喷泉

这是又一个显示压缩空气作用的实验。取一条细长的玻璃管，一头有一个锥形的小喷嘴。把玻璃管插进一个塞子，把带管子的塞子塞住一个装了水，但是没有装满的瓶子。带喷嘴的一头朝上，管子的另外一头插进水里。

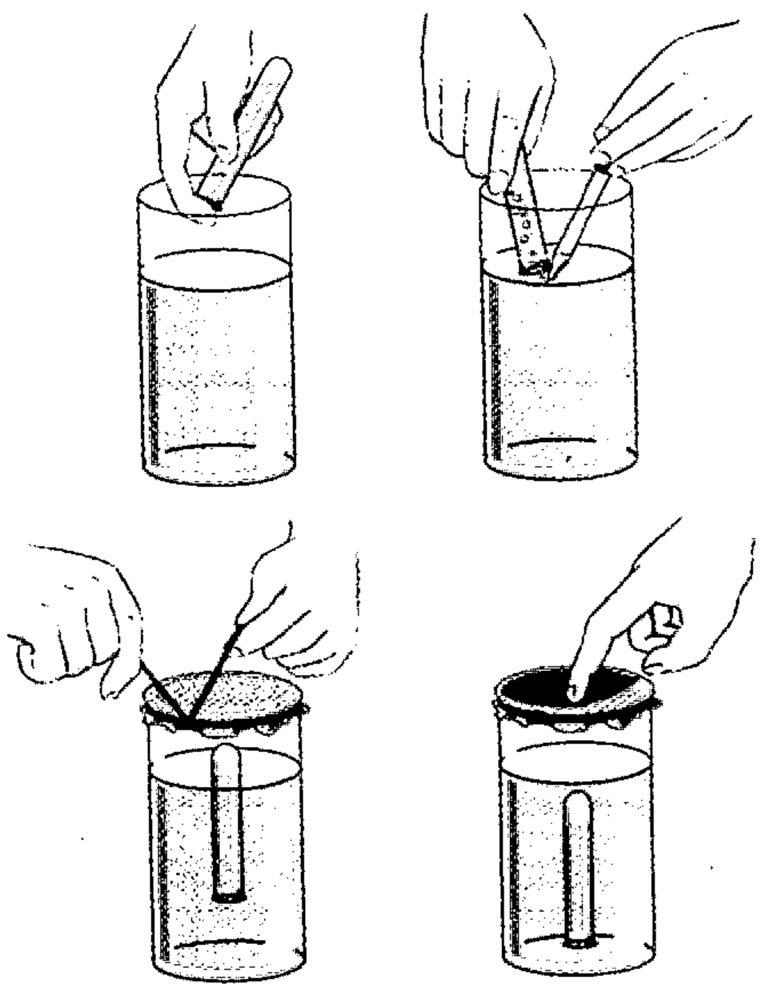
从喷嘴往瓶中吹气，空气受到压缩。送气一停止，被压缩的空气就迫使水向上喷，出现喷泉，由于管子顶端的喷嘴很小，喷泉可以维持比较长的时间。

奇怪的浮沉子

17 世纪的法国科学家 R. 笛卡儿设计了一个潜水实验。在进行这个实验的时候先将水倒进试管里，直到这个试管刚刚能够头朝下地漂浮在一个高的容器的水里。然后再把一片橡皮紧紧地捆在容器的口上。

压迫橡皮膜，将使容器里和试管里的空气受到压缩。这将迫使一部分水进入试管，而使试管下沉直到压强消除为止。试管里的空气取代的水的量正好是试管的重量。阿基米德在差不多 2 000 年以前就发现了这个原理（见：**阿基米德**）。

阿基米德原理的演示



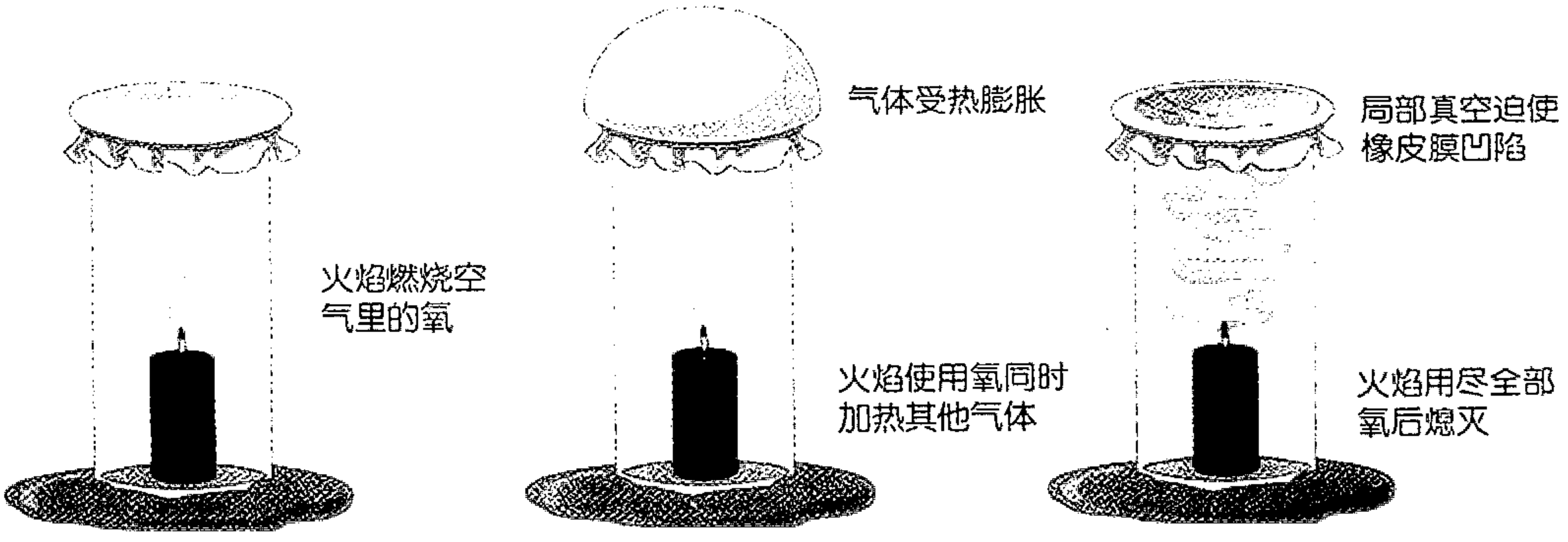
将水注入试管，使它刚好口朝下地漂浮在装着水的容器里。为了做得精确，用医用滴管将空气送进试管里。随后用橡皮膜放在容器的口上捆紧。压下橡皮膜，试管将向下沉。

火需要空气中的氧

空气里的氧支持燃烧。这是可以用实验来说明的。先是将两头开口的玻璃管的一头用橡皮膜扎紧。然后把一小节蜡烛按在一块腻子上。点燃蜡烛，把管子开口的一头罩住，按在腻子上。火消耗氧，同时也加热空气里其它的气体，橡皮膜因此向外凸出。火烧完，气体也凉下来了的时候，因为失去了氧，管子里出现了部分真空。来自外部空气的压力迫使橡皮膜向管内凹陷。

二氧化碳使火熄灭。要证明这个现象，只要在一个玻璃杯里竖一根蜡烛，把少许加了食用苏打的水倒进杯子，点燃蜡烛。再把食醋倒进加了食用苏打的水里。这就产生了二氧化碳。当杯子里充满二氧化碳的时候，因为缺少氧火

火消耗空气里的氧



一个管子，顶部用橡皮膜盖住，扎紧，扣在燃烧的烛火上方，嵌进底部的封泥里。热空气使橡皮膜往上凸出。空气冷却下来的时候，火焰因为消耗了氧而造成局部真空。外界的压力压迫橡皮膜下陷。

就熄灭了。这个原理被应用于某些种类的灭火器。

为了说明燃烧需要氧的连续供应，可以把一根蜡烛竖在一碗水里。点燃蜡烛，把一个玻璃漏斗罩在蜡烛上面，扣在水里。蜡烛很快冒烟，因为缺氧而熄灭。这个时候再点燃蜡烛，并用一根管子从碗外面通到漏斗里靠近火焰的地方。因为有空气（和氧气）的供应，蜡烛就会持续燃烧。

渗透作用 OSMOSIS

如果不让开花植物得到水，花会凋谢。如果将细菌的细胞放置在浓的盐水溶液中，它们会萎缩并死亡。放在淡水中的人的红血球细胞将会膨胀并破裂。这些都是渗透作用的例子，通过渗透过程水会透过细胞膜。

由于物质经常处于原子和分子水平的运动状态，渗透作用是可能的。准确地说，在液体溶液中溶质分子（被溶解的物质）和溶剂（通常为液体物质，溶质溶于其中）无规律地动来动去，从高浓度区域扩展到低浓度区域。这个过程称做扩散。

倘若细胞膜容许溶质和溶剂等同地通过，透过细胞膜的扩散将会导致细胞的内部与细胞的外部环境组成相同。但是这种情况不会发生，因细胞膜是有差别地可渗透的或半渗透的，也就是说，对一些分子是渗透的，但对另一些则不是。水分子（及被溶解的气体如氧和二氧化碳）较一些已溶解的固体溶质，如糖和盐，更加易于透过膜。

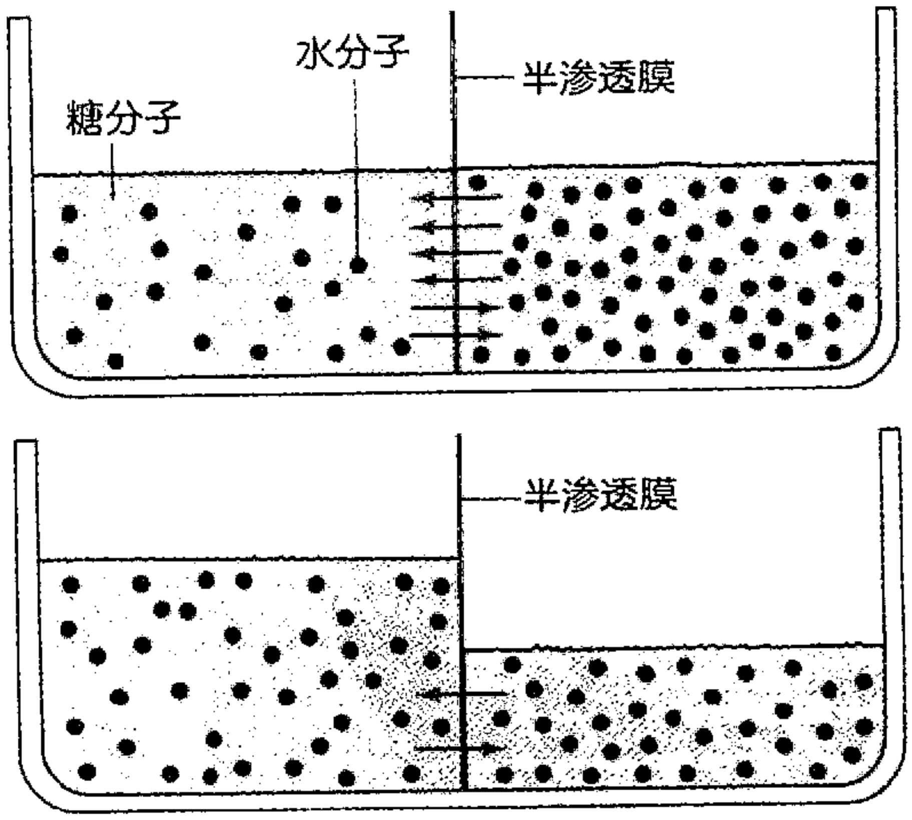
如果周围环境是高渗的（其溶质浓度高于细胞的浓度）水便从细胞内向外扩散。这就说明了为什么细胞在浓盐水中脱水和死亡，以及为什么食物保存在浓盐溶液中不变坏。

如果周围环境是低渗的（其溶质浓度低于细胞的浓度），水便扩散进入细胞内。在低渗的环境中植物不会枯萎。水扩散进入植物细胞内，细胞膨胀，并向细胞壁施压，使植物挺立。细胞的扩张由细胞壁的抵抗压强所控制，这种压强随细胞膨胀而增高。这种称做超扩散的压强阻止水进入细胞内。

动物细胞中无坚固的细胞壁。由于不存在反渗透的机械作用，水将扩散进入动物细胞内直至细胞破裂。在单细胞生物体中，一种称做收缩空胞的结构将水从细胞内透过膜抽到周围环境里，以维持平衡。人体中过量的水以尿和汗排出去。不像在扩散过程中细胞被动地接受或失去物质那样，这些排出过程是主动的，需要细胞消耗能量。

渗透过程不局限于水和细胞膜，许多其他物质同样地进行渗透，例如，吡啶（一种从煤焦油萃取出来的液体）能通过橡胶膜扩散到糖和吡啶的溶液中。

当任何溶剂通过薄膜扩散至固定体积的溶液中时，固定体积内的压强升高了。溶液的渗透压必须施加于溶液的外压以阻止溶剂从纯溶剂扩散到溶液中去。



当糖溶液和水以半透膜隔开时（上图），所发生的渗透作用之实例如图。溶液中大的糖分子不能透过膜进入水中。小的水分子通过膜进入，直至达到平衡（下图）。

1748 年法国物理学家诺莱记录下渗透作用的观察结果。通用术语 osmose（现用 osmosis）即"渗透"，于 1854

年由苏格兰化学家格雷姆提出。德国植物学家普费尔于1877年首先公布可靠的渗透压测定方法。他将一U形汞管固定在盛糖溶液的容器上。通过调节汞的高度，他能够在溶液上保持一种流体静压力来平衡水通过薄膜扩散到溶液中的趋势。1887年荷兰化学家范特霍夫指出普费尔的数据说明稀溶液的渗透压与溶液中水的体积成反比。范特霍夫还证明渗透压与溶液体积和温度的依赖关系与气体的性质相似。

撰文：Robert Applebaum

摩擦 FRICTION 见：能量

热力学 THERMODYNAMICS 见：热

热 HEAT

一切活的东西都需要热。热是因温度不同而从一个物体传到另一个物体的能量的一种形式。它是处于无穷循环之中的一些自然变化的原因。

热带地区从太阳获得的热量比极地多，热带的大气比其他地区的大气热。结果暖热的热带空气要向两极转移，这就使空气开始全球流动，或者说环流。全球空气流动有很多是地球上人类的活动造成的。各个海洋也得到不同数量的热量。这导致不断通过地球海洋的水体的流动。

地球不仅从太阳得到辐射热，它也把热辐射带回空间。因而一个巨大的热平衡维持在太阳和地球之间。这个平衡使地球避免过热或过冷到生物无法生存的地步。

由太阳落到一个地区的热的数量决定这个地区的温度变化范围。大气的温度依次决定该地区的水分是处于水的状态还是冰的状态。植物和动物生存的种类和数量都取决于当地环境的温度。致病的细菌在一种温度下比在另一种温度下繁殖得快。因此，在一些地区温度影响到疾病是否流行。

对一个场所的供热量也直接影响人的活动。在人确定他在哪里生活、工作和建设他的文明世界时，这也是一个因素。在安排我们的生活和居住环境时，热能的可靠供应是非常重要的因素之一。

自然与热源

从我们最早的幼年时代，对热就是这样熟悉，以至我们几乎想不到它。热的结果——燃烧——能够很容易地感知，而要弄明白热本身到底是什么就难了。热既不能称量，也不能看见或听到。不过，关于热的科学研究还是告诉了我们许多有关它是什么和它如何作用的事情。

物质的动理学理论为热的定义提供了基础。按照这个理论，所有物质都是由不停运动的原子和分子组成的。当物质吸收能的时候，这些原子和分子的无规运动和内能就增加了。内能的增加有两种：原子直线运动中的增加和绕其自转轴转动中的增加。这个增加以热的形式被感知，这时就表现为物质的温度升高了。

向一个金属靶子发射子弹是把一种能转化（变化）为热的例子。子弹击发给弹头以运动形式的动能。当弹头击中靶子时，在一刹那间停住，它那可怕的能量哪里去了？这个问题的答案是：弹头的动能转变成了构成弹头和靶子的原子的无规则运动。原子运动加速，产生热。这可以通过测量靶子和弹头的温度来证实。温度的升高足以使金属瞬间熔化。

因为热是生物所必需的，所以知道热来自哪里和如何利用热是重要的事情。对我们地球来说，最重要的热源是来自太阳的辐射。这种辐射的一部分被地球吸收，它使地球表面和大气的温度保持在一个容许生物延续的水平上。

辐射热能中，太阳正下方的赤道地区接收得最多。离开赤道，从太阳接收的辐射热就减少。因为这个原因，热带地区温暖而两极地区寒冷。

燃料的热值

第二个最重要的热源是地球表面和地下储藏的天然燃料。这些燃料中最重要的是煤、石油、天然气和木材。然而这些物质并不能像太阳那样永恒和自动地提供热量。它们是由碳、氢及其他元素构成的。当一种燃料被加热到一定温度时，它就与氧发生化学反应，我们称之为燃烧。这个反应释放大量的热。

其他的实用燃料源

电能也能转化为热。这种转化被用在许多日常器具中。我们从电热器、电烤箱、电熨斗和电烘干器获得的热都利用了由电能转化的热能。

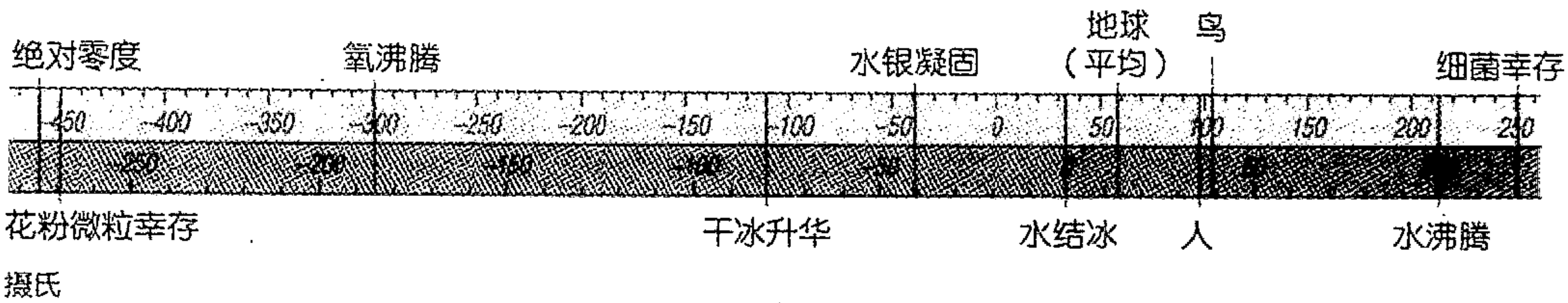
许多化学反应产生热，并不依赖于氧化作用。它依赖于反应进行时化学能向热能的转化。若干普通的伴有放热的反应是那些酸或碱与水混合时发生的反应。将来，最重要的可控热源有可能是原子核裂变时释放的能。（参见：核能）

温度的意义

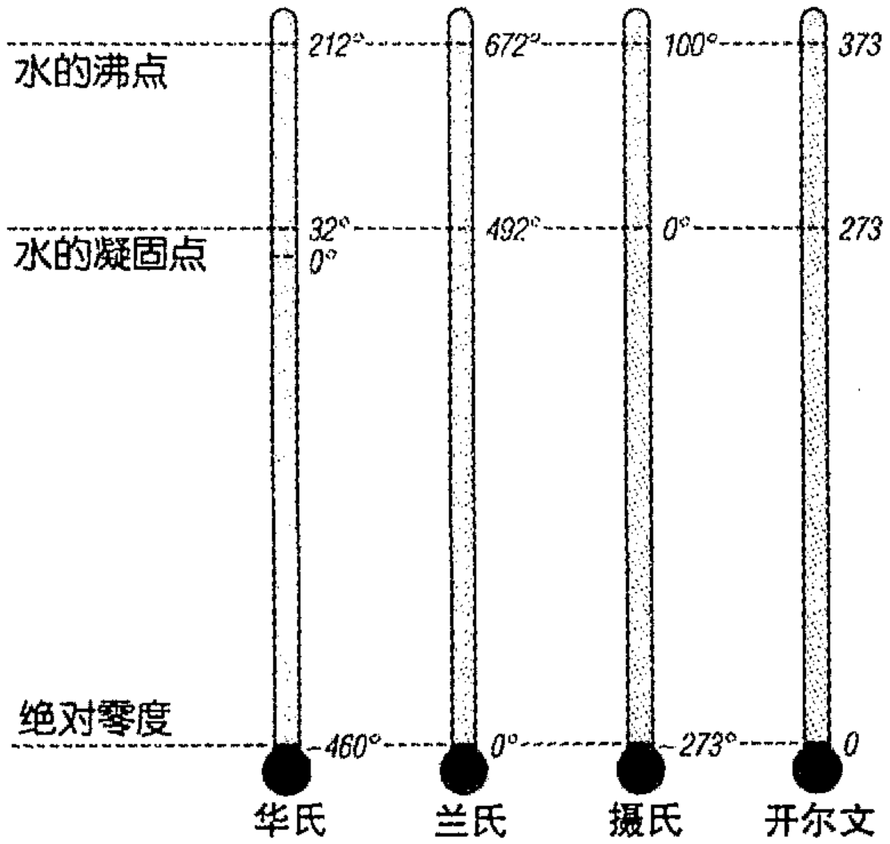
温度是赋予热的概念以物理意义的性质。如果一个物体是冷的，我们就说它温度低。如果它热，我们就说它温度高。我们也能观察到，如果把热烙铁插入冷水中，烙铁将变凉，而水温将升高。这意味着热物体把它的一些热给了冷物体。这种热交换将持续进行，直到水和烙铁温度相同。因此，当一个物体与温度不同的另一个物体接触时，它的温度将取决于热量从它流出还是向它流进。

为准确起见，定义基于一些数值不变的温度是必要的。对于温度，就有这样一个值。它被称为绝对零度。绝对零度的概念最早出现在1802年。化学家J. L. 盖-吕萨克发现，所有气体，当温度升高1（摄氏）度时，体积都增大它们在水的凝固点温度时所占体积的$\frac{1}{273}$。由此推理，使气体冷却，它的体积将随着温度的降低减少同样的数量。

因此，如果我们假定水的凝固点为零度，让气体冷却，那么它的体积将在零下273度时收缩到零。进一步的研究确认了绝对零度的概念。它现在被规定为所有分子和原子运动完全停止的温度。那么，从这个意义上说，一个物体的温度就是这个物体中所有原子和分子运动强度的量度。绝对零度也是一个不可能达到比它更低的温度。



大多数活的东西都生存在0℃（32℉）到49℃（120℉）之间的温度中。不过，花粉冷冻到−268℃（−450℉）仍能恢复正常活力。某些细菌生活在很深的油井卤水中，温度高达121℃（250℉）。一些临界性的温度，例如氧的沸点，是固定的标准。



在华氏和兰氏温标中，定点之间的间隔被分成180度，在摄氏和开尔文温标上则分成100度。

温度的度量

为了精确地度量温度，有必要设计并创立一个温标。首先要选定两个自然事件，它们各自总是发生在相同的温度。水的凝固点和沸点就是两个这样的固定点。它们可以很容易地重复。于是就给这两个固定点分别任意指定一个表示温度的数字（0℃和100℃或32℉和212℉）。最后，这两点之间的间隔被分成固定数目的相等的度。零度以下的温度记为负数。

基于水的沸腾和凝固这两个固定点的这两种温标是通常使用的温标。华氏温标常用于工程和家务，摄氏温标从前称为百分温标，普遍用于科学测量。这两种温标都可以换算成以绝对零度为基础的绝对温标。绝对摄氏温标称为开尔文温标，绝对华氏温标称为兰氏温标。

常常需要将一种温标的温度换算为另一温标的相应温度。几个常用的换算关系是：

华氏到摄氏 $℃=\frac{5}{9}(℉-32)$

摄氏到华氏 $℉=\frac{9}{5}℃+32$

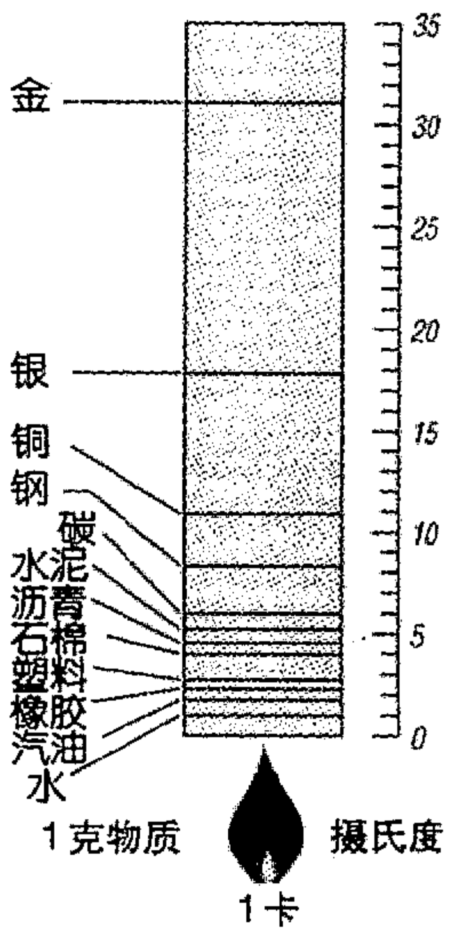
摄氏到开尔文 $K=℃+273$

华氏到兰氏 $°R=℉+460$

热和功

热和功之间有直接关系。例如，一个物体做功，使一个运动物体停止。运动物体的动能就转变为两个物体的分子内部运动的能。功的这种类型称为摩擦。分子内部运动的增强导致这些物体所含热量的增加，它们的温度会升高。

存在于热和功之间的准确关系已经被确定，它称为热功当量。1卡热能相当于4.1840焦耳机械能。



按定义，1卡热使1克水温度升高1度。因此水的比热是1卡/克。由图我们看到，1卡热使1克银温度升高17.8摄氏度。为计算银的比热，用水的比热(1)除以1克银吸收1

卡热时升高的温度：$\frac{1}{17.8}=0.056$（卡/克）。

热的其他性质

一种物质的比热或热容，是单位质量的这种物质温度升高1度所需要的热量。不同物质的比热值相差很大。在米制里，比热的单位是卡，它定义为1克水温度升高1摄氏度需要的热。水的比热被定为1.000卡/克。所有其他值都以这个单位为基础。温度和比热之间的关系见前图。

1个英热单位（252卡）是将1磅水的温度升高1华氏度所需要的热量。反应热是化学反应进行时从周围吸收或散发给周围的热。Q是反应热的符号。如果是发热，Q是正数，反应称为放热反应。如果是吸热，Q是负数，反应称为吸热反应。

反应热的度量可以用一种仪器来做，它叫做量热器，是放在较大的盛满水的器皿中的一个容器。这个反应器配有一支灵敏的温度计。较大的器皿与周围绝热。试验时，数量已称过的物质在反应器中完全燃烧。测量升高的水温。因为已经知道水量和升高的温度，反应或燃烧产生的热就可以算出来了。

蒸发潜热是液体蒸发所吸收的热量。对于水，在沸腾温度时这个值是539.6卡/克。熔解热是使一种晶体在熔点变成液体所需要的热量。对于水，这个值是79.7卡/克。

热引起的膨胀与收缩

当温度升高时，所有物质的体积都会增大。对于气体，这种增大就特大。如果气体的重量和压强保持不变，那么体积的增大将与温度的增高成正比。加热固体，也会使它膨胀，但膨胀程度比气体小得多。在一个金属杆中，当它膨胀时，杆的每一单位长度都会变长。温度升高1度，每一单位长度变长的量称为线膨胀系数。液体在一般情况下表现像固体，在温度升高时稍有膨胀。（参见：水）

热的传递

热传递帮助形成了我们生活于其中的世界。如果热不能传递，人将遭受巨大损失。如果能找到一种方法将热传到两极地区，将能支撑大量人口，就像在温带国度那样。幸运的是，人比较成功地在一个较小的规模上利用了热传递的自然方法。热量如果是在不需要的地方，它是无用的。如果它能被转移到另一个地方，则可能是有用的。

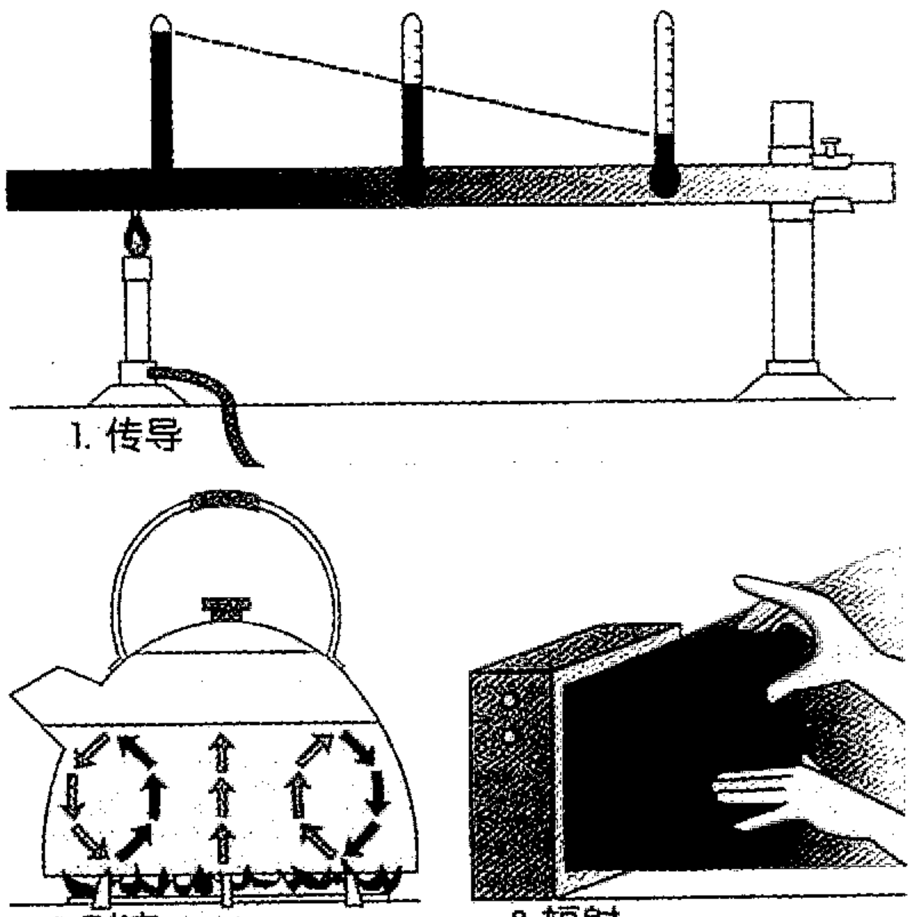
热，按其本性，帮助这种转移成为可能。热总是从高温处向低温处转移，或叫流动。这种流动有三种方式，分别称为传导、对流和辐射。

传导

传导是逐点通过的热传递。如果物体的一部分与热源直接接触而被加热，那么相邻的部分也相继变热。因此，如图所示，如果将一个金属杆放在煤气头上，热就将通过传导沿着杆传递。这可以用物质的动理学理论来解释。金属杆的分子增加它们的动能。这种强烈的运动由分子到分子沿着金属杆传播。

就通过传导进行的热的流动来说，有时不妨将热的流动与电的流动相比较。温差可以想像为电路中的电压。一种物质的传导热的能力（它的热导率）可以与电导率相比。两点之间的温差（或电压）大，驱使热（或电流）运动的力就大。传导的热（或电）量将取决于温差（或电势差）和导体产生的对热流（或电流）的阻力。

热传递的三种方式



（1. 传导）热从杆的热端流向冷端。随着离煤气火焰距离的增加，杆的温度成比例地降低。在一个茶壶（2. 对流）里，热水上升，冷水下降，直到全部水都处于相同的温度。一个家用电热灯（3. 辐射）产生热效应，直接传递辐射能。

对流

被称为对流的热传递方式依赖于被加热的物质的运动。它适用于能够自由运动的物质，即液体和气体。这种运动是伴随着热过程的密度变化的结果。茶壶中的水靠对流而被加热（见图），火炉靠对流加热房间里的空气。

一种液体或气体被加热时，它的密度（单位体积内的物质）将降低，就是说，它的重量变轻，气体较热的部分将上升，同时，气体较冷的，因而也是较重的部分将下降。这个过程被称为自然对流。自然对流的一个常见的例子是由暖气片产生的空气对流。当一种液体或气体由于某种机械力量而从一个地方运动到另一个地方时，这个过程称为人工对流。由电扇造成的空气循环是人工对流的一个例子。

辐射

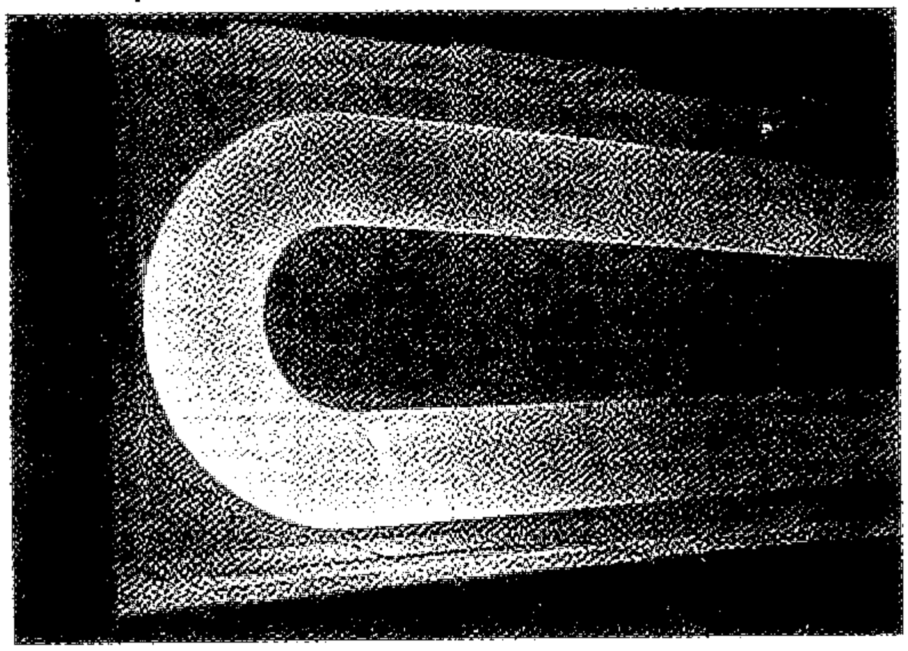
热能从一个地方传递到另一个地方的第三种方式称为辐射。当电热丝之类的热源中系统内能被转化为辐射能时，这个过程就开始了。这种能以穿过空间的波传递，就像太阳向外辐射热，穿过太阳系一样。最后辐射能射到一个

物体上，被吸收并转化为内能。那时它以热的形式出现。电热器就以这种方式产生辐射能。辐射能可以被它的传递路径上的物体所吸收、反射或透射。当辐射能被吸收时，物体内能增加，温度升高。

所有的物体，无论是热的还是冷的，都辐射能量。较热的物体，辐射的能量较多。另外，所有的物体也都接收来自其他物体的辐射。辐射能的交换不断进行。因此，恒温物体并非停止辐射，而是它接收能量的速率等于它辐射能量的速率，内能或温度不变。

通过辐射进行的热传递不像传导和对流的情况那样与冷热物体之间的温度差成比例。它与两个物体绝对温度的4次方的差成比例。因此通过辐射进行的热传递在高温时比低温时要经济有效得多。辐射传递还受到辐射体形状的影响。（参见：**辐射**）

Courtesy of the Gas Research Institute



一个辐射热交换器用于工业炉中，加热螺母、螺杆之类的材料。这个实验模型是以一个由陶瓷隔热砌块围成的陶瓷管构成的。

热力学和热的理论

热的性质自近代科学开始以来就是一个重要的研究课题。早期的研究者，包括伽利略、玻意耳和牛顿，都把热解释为构成物体的微小粒子的运动。18世纪的科学家集中研究热的流动而加深了对热的理解。它被看做一种液体，做了一些关于金属热导率的实验。

A. 拉瓦锡试图制订出一个定量的热的理论。他揭示出，化学反应中产生的热可以做定量研究。他提出了一个热力学体系，来帮助解释热与化学反应之间的关系。拉瓦锡的理论仍是以热是流体的概念为基础的。

动力学理论

1798年物理学家B. 汤普森（朗福德伯爵）复活了热的动力学理论。他对观察炮筒镗孔时产生的巨大热量发生了兴趣。汤普森判定，热不是一种物质流，而是能的一种转化的结果。40年以前，英国物理学家J. P. 焦耳也证明，热是能的一种形式。焦耳还证明机械能与热等价。他断定，要交换为某一给定的能，所需要做的功的数量与做功的种类、做功的速度和做功的方式都无关。因而，在一个绝热系统中，功可以按功热比率转化为热。这个发现后来成为著名的热力学第一定律。

N. L. S. 卡诺研究了热，解释了热从热区域向较冷区域流动的结构。开尔文男爵运用卡诺的概念提出了自己的绝对热力学温标。凭借数学的应用，W. 吉布斯和L. 玻耳兹曼把热力学提炼为一门严谨的学科。

火 FIRE

当穴居人学会了生火和用火，他们就可以开始以文明的方式生活了。有了火，他们可以烹调食物，食物更容易吃，滋味也好些。借助火把的亮光，人们在夜晚找路也变得容易了。他们还可以把木制工具的尖端放在火里使它变硬，改善它们的性能。凭着燃火取暖，他们能够在较冷的地区生活，在地球各处散布开来。

人们推测早期的人类因为偶然的机会，例如闪电导致树木着火，或者火山喷发而获得了火。他们在棚屋或者洞穴里小心地保持火种继续燃烧。根据调查研究，无论追溯到多么远古的岁月，还从来没有发现原始人不用火取暖和烧食物的。火还保护他们免受野兽的伤害。

后来人类终于发现怎样用干燥的木棒互相摩擦取火。接着他们发明了弓钻，加快了取火的过程。当人们开始凿燧石制作斧子的时候，他们发现石头迸发出灼热的火花。后来他们因此创造了燧石-钢取火法。以后还发现可以用透镜或者曲面镜聚集阳光的方法取火。

1783年以前，人们不知道火的真正的特性。这一年，伟大的法国化学家A. 拉瓦锡研究了氧的性质，奠定了现代化学的基础。（参见：**氧；拉瓦锡**）

拉瓦锡说明平常的火发生于某种物质与氧结合的所谓氧化的化学过程。拉瓦锡推翻了原来的“燃素”学说。燃素说认为在一个物体受热或冷却的时候，有一种神秘的物质（燃素）进入这个物体或者从中逸出。

因为火是氧化作用引起的，它需要空气来帮助它完全地燃烧，在密闭容器里，氧气耗尽以后，火焰便将熄灭。只要有充分的时间，几乎任何东西都能与氧化合。长时间暴露在潮湿空气里的铁会生锈，铁锈就是氧化铁。如果化合作用迅速，有火焰伴生，人们就称之为燃烧。

着火点，或者说着火温度

热是燃烧必需的条件。一种物质着火并保持连续燃烧时的温度称为着火温度。一种物质能够在空气里着火的，就说它是可燃的（或者说易燃的）。可燃液体的闪点比它的着火点低。闪点是可燃液体挥发出足够量的蒸气在空气中发出闪光或一闪即逝的燃烧的温度。这个温度不是这种物质能够连续燃烧的温度。

原始人用两根木棒摩擦取火的时候，虽然他们不理解是什么原因，但是他们发现木头的着火点是很高的。他们必须花费很大力气，产生很大热量，才能出来火苗。火柴的头是化学药品制成的，在一般情况下它的着火点不高。将火柴头在一个粗糙的表面上摩擦一下所产生的热量就足以开始燃烧。

下文有一张关于若干物质着火温度的表。但是应该记住，继续燃烧所需要的温度可能有相当大的变化。这是由物质的状况，空气的压强，有没有别的气体参与，以及实验室的实验方法等因素决定的。

自燃的原因

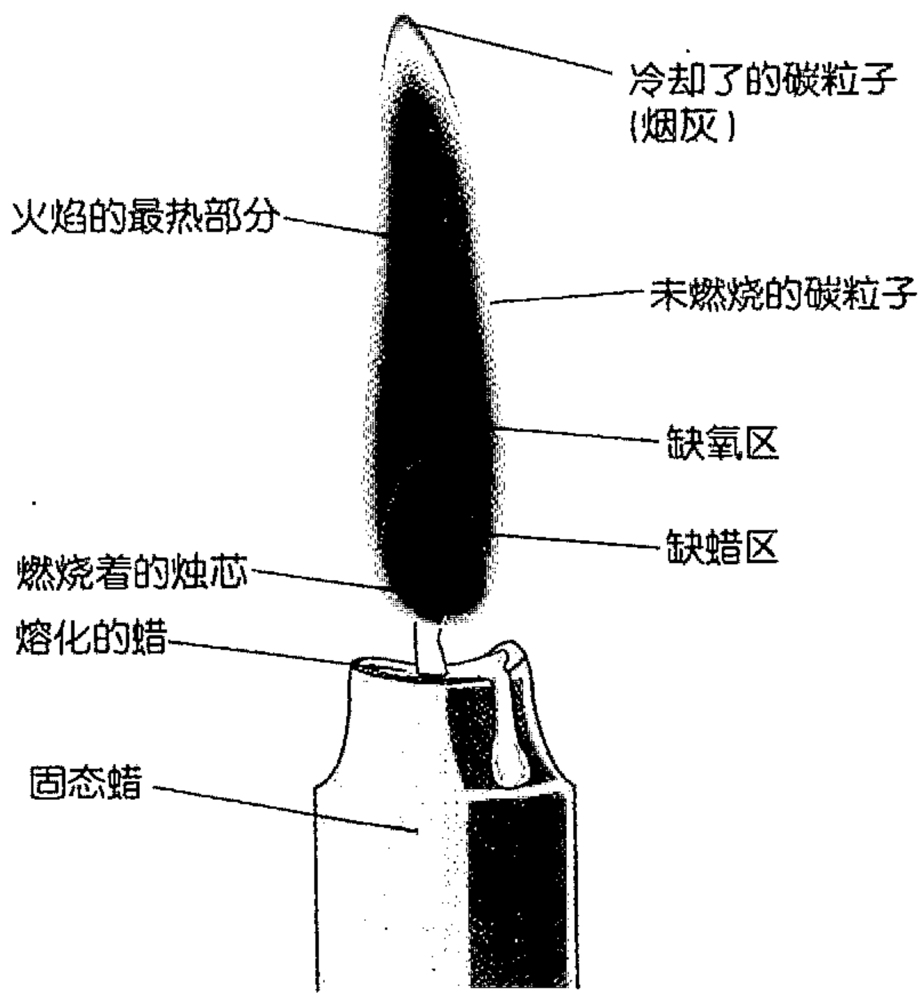
某些植物油和动物脂肪的着火点不高。它们迅速氧化，产生很多热量。如果存放的地方不能散热，它们可能突然燃烧。成堆的破布、纸张和浸过油的这类物质的自燃可能引发火灾。大堆的煤和木炭有的时候产生的热量足以使它们起火。受潮的干草堆里的某些细菌能使草堆的温度迅速升高并且着火。

双组分火箭燃料的燃烧是一种自燃形式。它被用来给液体燃料火箭点火。将两种流体泵进火箭的燃烧室：一种是化学氧化剂，另一种是和它起反应的燃料。两者接触后温度升高到着火温度，通过氧化作用就烧着了。它们在高温下燃烧，产生压强，为推进火箭提供了射流推力。

降低温度使火熄灭

在火着起来以后，只有燃烧中的物质燃烧产生的温度和它的着火点一样高，或者比着火点还要高，燃烧才能继续。这是燃烧的最重要的规律之一。有些很硬的木料，例如乌木，需要大量的热才能烧着。如果把一根乌木棍的一端放进煤火里，它将燃烧。把它从火里取出来，冒烟燃烧着的乌木本身的火，它的温度低于乌木的着火点。火焰将因此熄灭。

燃烧过程中的各个阶段



蜡烛火焰产生的热使灯芯周围的蜡熔化成液态。液态蜡由于毛细管作用向上流动，随后受热汽化。火焰是汽化的蜡的燃烧。

这个原理说明了为什么可以把一根火柴吹灭。因为人呼出来的气吹走了热，温度降低到火柴棍的着火点以下了。消防车水龙射出的水流降低了建筑物着火的墙壁的温度，产生了同样的结果。

火的热度取决于化学药品与氧气结合的速度。这个速度一般取决于周围氧的数量。如果把一根点着了的火柴去接触一小段铁丝，铁丝不会燃烧。如果把火柴头固定在铁丝的一头，擦燃火柴，立即把它插进装着纯氧的广口瓶里，这段铁丝会着火并且燃烧，不断地喷射光亮的火花。

无焰燃烧

火可能有火焰，也可能没有火焰。火焰往往表明热迫使燃烧着的物质释放出气体来了。火焰就是这种气体与空气中的氧气结合产生的。煤在燃烧的时候被迫释放出气体，气体中的碳与氢和氧结合，产生了火焰。如果不让煤气着火，可以把它贮存起来。人工煤气是在密封窑里或蒸馏罐里强迫煤释放出来的煤气。提取煤气后剩下的产品称为焦炭。焦炭燃烧的时候因为没有释放气体所以没有火焰。在燃烧的时候，焦炭里的碳直接与氧气结合。

蜡烛的蜡受热释放出气体，产生光亮的火焰。例如，把一根正在燃着的蜡烛吹灭，会升起一小缕轻烟。要是擦着一根火柴并在烛芯上方 2.5 厘米的地方接触这缕烟，一个小的火焰会从上而下，重新点着蜡烛。

着火温度℃	
铝	515
煤	316—482
棉胎棉花	230
压片棉花	240
硝化纤维膜	137
燃料油	257
煤气	538—649
普通级汽油	371
辛烷值 100 的汽油	427
猪油	343
火柴头	163
锦纶布	475
玉米油	393
棉籽油	343
豆油	445
粉状氧化亚麻子油涂料薄膜	462
新闻纸	230
石蜡	245
粘胶嫘萦布	280

合成橡胶	310
鳞状紫胶	432
蚕丝	570
锡粉	590
松脂	240
木材	193－466
羊毛毯	205
锌粉	650

最光亮的火焰并不总是温度最高的。氢和氧在燃烧中结合成为水，氢的火焰差不多总是看不见的，即使在平常的情况下也是如此。在氢是绝对纯的，周围的空气又完全没有尘埃的情况下，即使是在暗室里也看不见氢的火焰。（参见：氢）

每当一种可燃气体与空气相混合的时候，只要它的量达到足以完全化合的需要，它将极其迅速地燃烧，以至产生爆炸。这就是在汽油机里发生的现象。汽化器提供空气和燃料蒸气的混合物，电火花将它点燃。

煤气炉灶关火之后，有时候会出现小的爆炸声响，这是煤气管道里残留的煤气发出的。空气通过气阀钻进来，直到混合气体达到具有爆炸性的时候，此时煤气炉炉嘴上残留的星星火焰返回来将它点燃。

火的传说和火崇拜

北美印第安人部落传说里说起各种动物向印第安人祖先传授取火方法。别的地方早期人类说火是通过神奇的途径从天上传到地上来的。按照古希腊的神话，提坦的巨人族的普罗米修斯从太阳那里盗取火种，带给人间。

有许多证据表明，原始人在学会取火之前一段时间已经会使用火了。当他们获得火种以后，他们小心守护火种，不让它熄灭。

关于火的神奇来源的传说以及维护火种长期不灭的努力，逐渐与宗教活动联系起来。崇拜火常常与崇拜太阳联系在一起。据说火是太阳神在尘世的代表。埃及人、希腊人、罗马人都在寺庙里保存着圣火。神职人员或者某些专职人员守护着圣火。罗马维斯太教堂的维斯太贞女是最著名的守护者之一。马雅人和阿兹特克人在高耸的金字塔顶上或者火祭坛上供奉燃烧的圣火。伊朗宗教拜火教保持的圣火每天必须加油至少五次。

火的历史就是进步的历史。在人类学会制服火和役使火之后，他们具备了开发自然力的能力。火产生蒸汽动力。它从岩石里提取出金属。它帮助把树胶制造成橡胶，把松软的黏土制造成砖块。对于许许多多制造加工业来说，火是必不可少的。

低温学 CRYOGENICS

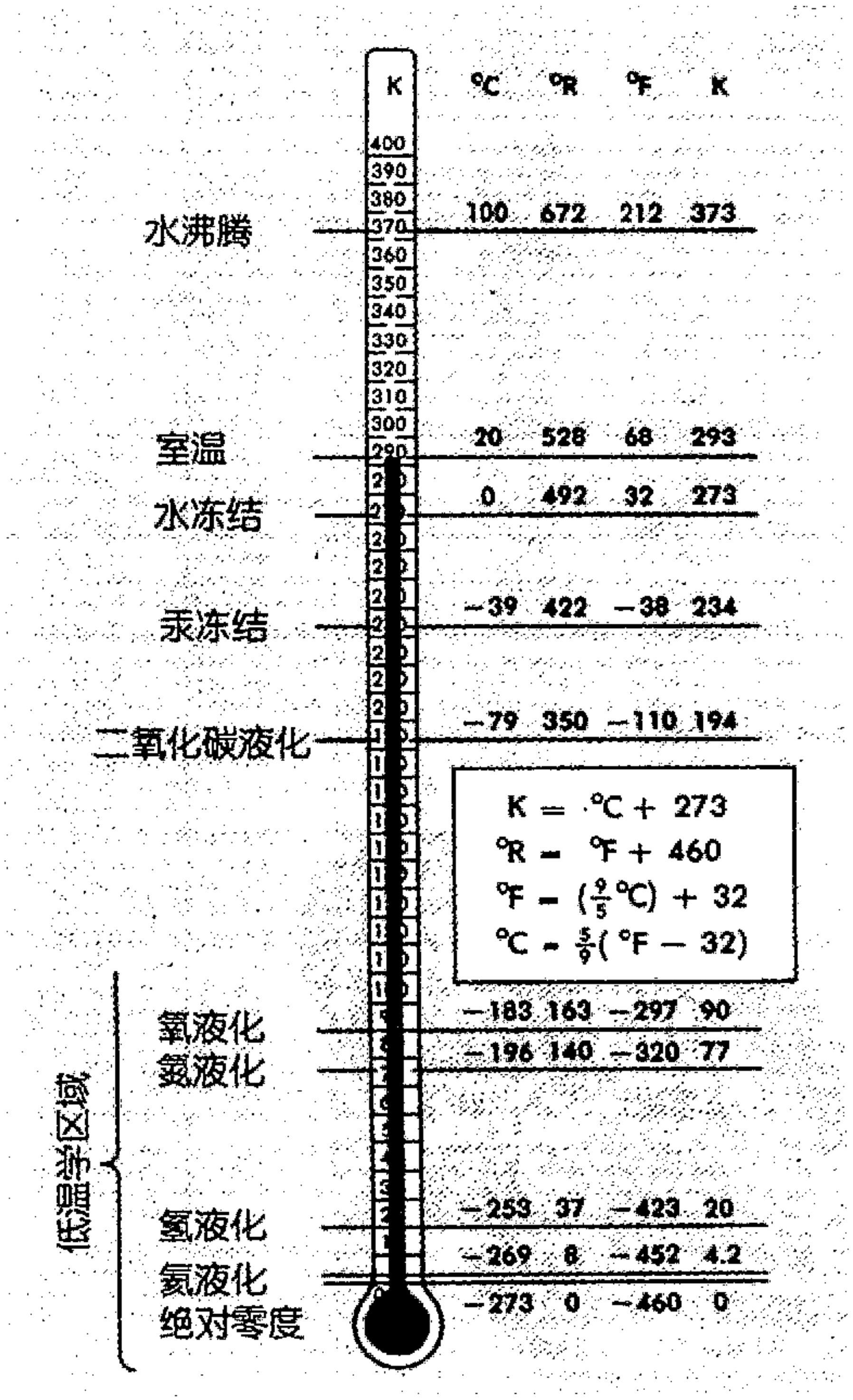
研究处于温度远低于地表面的物质的科学。在低温范围内，空气变为液体甚至固体，活组织将立即冰结。这个范围的极低温度下，有些物质具有特异性能，流体能沿表面上升，而电流将不停地流动。

由于钢处于北极温度下变脆，科学家用铜或铝这类金属制作低温设备。天然橡胶在液氮温度下脆若玻璃，因此硅橡胶就取代了它。

应用最广泛的低温变化之一，是气体的液化。已经利用液态空气的蒸馏制造纯氧、纯氮、纯氖和其他气体。这些物质处于液态时较易运输和处理，因为处于气态就必须维持大的压强。火箭中的氢-氧燃料，如用气态而不用液态，火箭就要重得多。化学性质不活泼的液态氮是适用的最安全的冷却剂之一。它用来控制科学实验的温度，或保存生物样品。在低温外科手术中，液氮用来冻杀病态的组织。

温度是原子运动（平动、转动和振动）剧烈情况的量度。一种物质吸收了热量，它的原子运动得更快。当物质散失了热量，它的原子就动得慢些。如果物质冷却得非常之冷，它的原子将停止运动（理论上的零点运动除外，那是物质的永恒的性质）。到达那个温度，物质就不再运动，或不再释放能量了。

对全体物质来说，这个最低的可能存在的温度是相同的。它被称为绝对零度，即－273.16℃。开尔文温标和兰金温标都以它为零度。开尔文温标通常用于低温学，它的



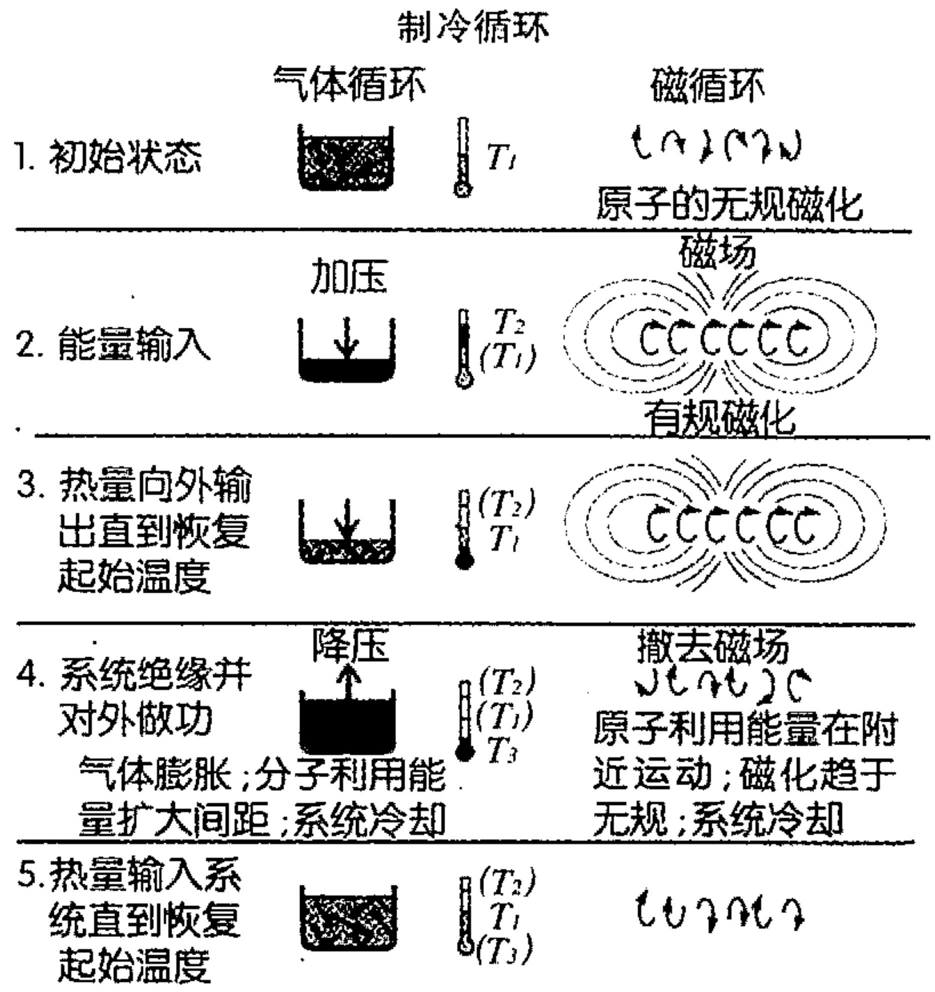
低温学范围从绝对零度到 90K 左右。

每一度(K或开)和摄氏度相等。兰金温标用于航天工业，每一度和华氏度(°F)相等，绝对温度零度相当于-459.69°F。在特别冷的阿拉斯加冬夜，气温可降到-73℃。低温学的温度起点要比这个温度低得多。氧的沸点90K，处于低温学温度范围的高端。如今液氢和液氦已投入商业生产，科学家能够用液氦开始实验，它的沸点为4.2K。0.001K以下的温度已经达到。方法之一的理论极限是千万分之五开(0.0000005K)。

虽然这些温度非常接近绝对零度，但绝对零度是永远不能达到的。热力学第三定律认为这温度是不可能达到的。正如最大的数是不存在的，因为不管写下的数有多大，总可以加上另一个数，使它更大一些，所以也不存在最小的数。不管温度低到0.0001K或更降低到0.0000001K以下，更低的温度永远存在。

超低温冷却法

在自然条件下，冷却一种物质只需把它安放在更冷的一些物体中。如果要使物质比周围的一些物体更冷，就必须做功以排去热量，还要提供绝缘以保冷。



上图是使温度冷却到低于环境的两个常用方法。图左的气体循环用于制冷机，使许多气体液化。图右的磁循环用于使温度冷到1K以下。

低温学的制冷技术运用类似的能量转移原理。首先，必须把能量引入到系统中(例如压缩气体)。这将升高系统的温度。超额的热能就外传到周围区域，使系统冷却到起始温度。然后使系统绝缘并对外做功(例如让气体膨胀)。这一步尽量消耗余下的一些热能；并使系统冷却到温度低于周围环境。

使温度冷却到毫开(0.001K)左右水平，要用特殊的技术。这些技术基于热力学第二定律所描述的系统的能量与熵(无序量)之间的数量关系。依照第二定律，要使系统内的无规原子更为有规(即使熵减少)，惟有把系统外的能量输入到系统中来。

去磁冷却依靠这个数量关系。要使顺磁性晶体中的分子的磁矩排列成行，施加的强磁场从外界提供了能量。这也是升温过程。当晶体回冷到起始温度后，撤去磁场，分子回转到无序状态。所需能量由晶体的热能提供，因此温度下降。

低温下的液氦的特殊性质，可能提供其他冷却方法。例如，在某个温度范围内，加压下形成的液氦比固态氦更为有序(熵值更小)。如果液氦在这范围内的一个温度下受压凝固，和常见物质不同，氦在这个特殊温度必须吸热(增加它的熵)，随凝固而降低温度。这个技术不需要磁场，而磁场能够影响几类实验。

超流动性和超导性

液氦在温度高于2.2K时的性能和通常的低温流体相近。低于这个温度，氦的丰度最高的同位素氦-4，就具有超流动性，对于阻碍正常流体通过的微孔，超流态氦能快速通过，并不服从重力定律，爬上了容器壁，而且热导率是铜的1 000倍。

在很低的温度下，一些金属和合金变为超导体。当某一金属达到这一转变温度时，它的电阻完全消失。当铅环冷却到约1K时，电流就可能永远环行不息，铅环只要冷却到7K。一些合金的转变温度还更高一些。

由于超导体必须用液氦保冷，它的应用受到限制，而液氦稀少又昂贵。在20世纪80年代，发现了一类新的高温超导体。这些由氧化铜和稀土元素构成的陶瓷化合物，使高温超导性的商业应用更易实现。许多物质能够在高于90K的温度下具有超导性，这个温度利用价格较低的液氮即可达到。

高温超导体可以降低粒子加速器的运行费用，加速器已流行使用常规的超导电磁铁，这需要昂贵的低温冷却技术。其他的可能应用包括功率输电线路和磁悬浮高速列车。另一个低温学的工业应用是超导计算机元件，利用高温超导体也可有所改进。

低温学在保存食品的实验和制造汽车用的液化天然气等方面的应用正不断开展。在医学方面，为未来的外科移植手术低温储存组织和器官；为例如试管婴儿做准备，冻结和储存一些胚胎，都在进行。

光学 OPTICS

天空中的彩虹、反射镜和全息图都是光性质的表现。光学，是一门有关光的产生传播和它与物质相互作用的领域广泛的科学。光的行为有时像粒子，有时又像波。当光从原子发出或为原子所吸收时，它像是由许多的粒子或能包所组成，称为光子。但当光在行进时，其作用却如电磁波一样。(见：**光**；**辐射**)

几何光学

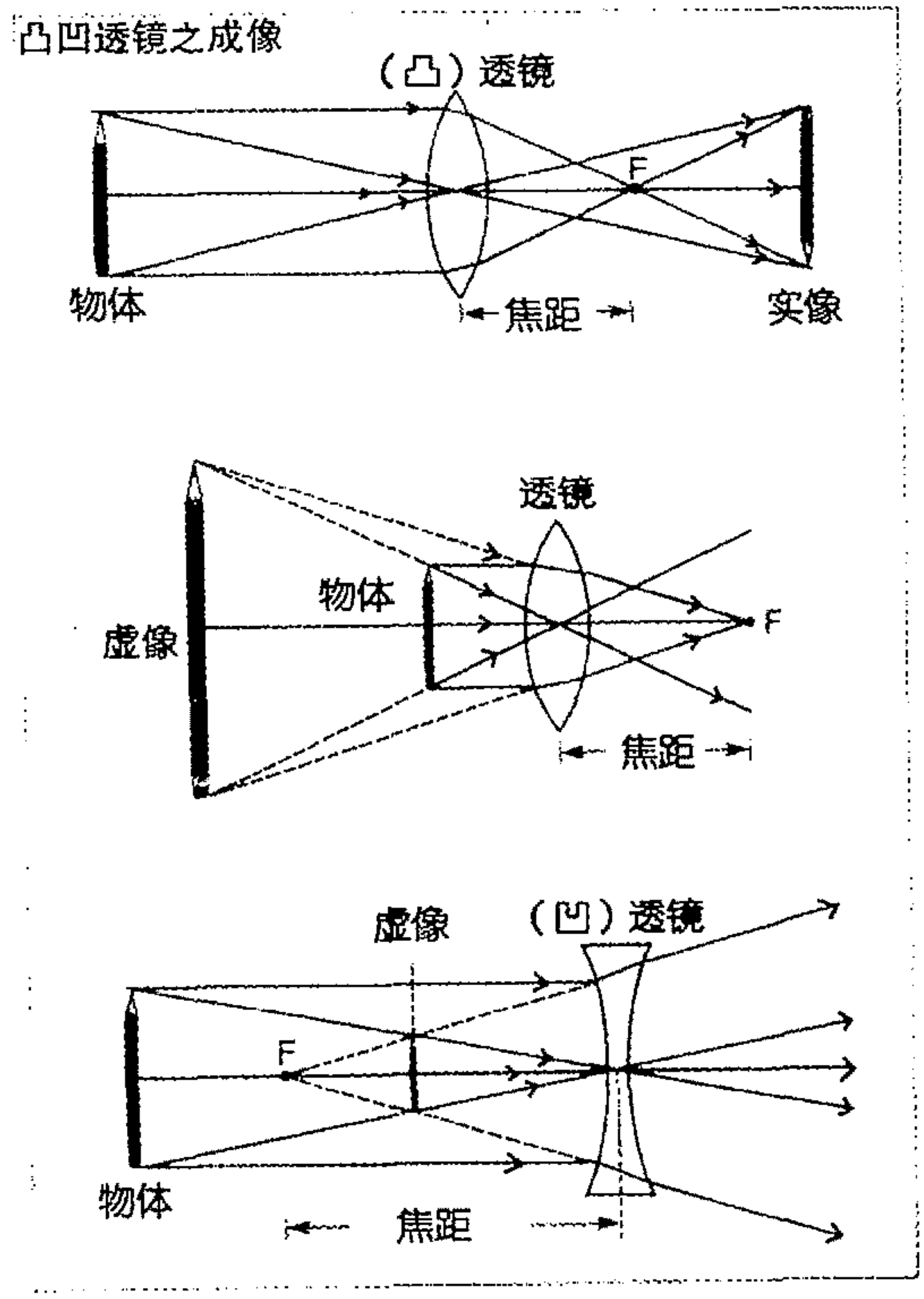
几何光学这一光学分支是研究反射镜、透镜和类似的其他设备的成像性质的。它也涉及光射到各种表面时所发生的现象。

光在真空或透明物中是走直线的。当它射到与另一不

同物所成的交界面处时，一部分光被弹回，即反射。光线的人射角等于光的反射角（反射定律）。从平而光滑的面（如镜子）反射的光的投影似乎是会聚的，或说汇交于镜后而成像。

当一支光线射到两种不同物质的交界面处时，其中只有一部分被反射。另一部分则进入第二介质，并有部分被吸收——即一部分或全部能量为介质所吸收——或者说是产生折射。

当光射到两种不同光密度物质的交界面处时便会产生弯折，即折射，因而在这两物质中的光速是不同的。在这种情况下，若光不是垂直人射，它就在界面处改变方向。透镜就会使光线弯曲或折射。



凹凸面镜对光线的弯曲或折射的趋势正相反，而其弯折大小则取决于透镜的焦距，物与镜距离（物距）之大小，给出缩小或放大的物像。

例如，光被眼睛的眼珠所折射，弯曲而会聚在视网膜上。若眼球的曲率有问题，则可带眼镜来校正视力。

透镜 由于透镜镜面的曲率，使不同的人射光束有不同的折射角。因此，一束完全平行的光有时能够会聚成一点，而有时能够从一点向外发散。这种会聚点便称为透镜的焦点。使光线会聚的透镜生实像。能将实像拍摄下来，也可投射到屏幕。而使光线发散的透镜则生一虚像。这种虚像只有用眼通过透镜才能见到。由透镜形成的像可比实物大得多也可比实物小得多，这就要看透镜的焦距值——透镜焦点与透镜中心的距离——还有实物与透镜之间的距离（物距）了。

中心比边缘薄的透镜为凹透镜，它使光线发散而只能产生虚像。其所生之像和实物在透镜的同侧，为一正立较实物为小的缩小像。像的大小是由实物与透镜间的距离来确定的：物愈靠近透镜则其像就愈大。

凸透镜则是镜中央比边缘厚，当物体位于一凸透镜的焦点以外（物距大于焦距）时，则透镜将光线会聚，而在物体与透镜的异侧产生一实像（见图）。但若物距短于透镜焦距，则在物与镜的同侧的物后面，产生一放大的虚像。一般说，这时物愈靠近镜，像的放大倍数就愈小。

斯涅耳定律 1621 年，荷兰科学家 W. 斯涅耳发现：当光线从一介质进入另一介质时，其入射角与折射角之正弦比为一常数，这比值便称为相对折射率。每种介质都有其自身的绝对折射率 n，它表明将从真空入射光的弯折程度的大小，n 愈大，该介质中的光速就愈慢，介质的折射率就愈高。

色散 当白光由空气进入一三棱镜时，光线不但有折射，而且出现各颜色光分离开的色谱。例如，其中紫光就比红光多弯了一点，因前者在玻璃中走得更慢，当光线从棱镜出来时，则各色光分离愈甚。这种现象便称为色散，可在天空中的彩虹中看到，这是阳光经过大气中水滴的折射而产生的色散。相机镜头因其色散而生色差，即各色光折射不同而产生模糊的像。

全内反射 简称全反射。当光从一光密介质进入一光较疏的介质时，若入射角足够大就会产生全内反射或全反射。在此情况下，无光穿过界面而进入第二介质，因为这时光被完全反射回去了。这样的全内反射，可在水中广视角地看水面而观察到——这时水面就像一面镜子。产生全反射的最小入射角叫临界角，它与两介质的相对折射率的大小有关。

物理光学

物理光学这一分支主要是研究光的本性的，而以此来解释无法用光线来弄清的一些光学现象。例如，当光发生衍射或散射到其障碍物后的影区内时，光的作用就像是波——而非光线或粒子了。可见光线中的长波（红、黄和绿光）比短波（紫和蓝光）要散射得厉害。光的衍射是日常可见的。大气中的众分子阻挡与散射了短波光，使天空显蓝色而太阳呈黄色。日落时，阳光在大气中走的路程更长，连绿光与黄光也被散射掉了许多，而使太阳呈红色。

当来自一个以上光源的光相重叠时，其表现亦如波。来自两个光源的光在一些地点加强而在另一些地点则相抵消，因而形成了一干涉图样。漂浮在水面上的薄汽油层之所以显彩虹色，正是由光的薄膜干涉所造成。激光干涉则用于全息照相，其所产生的三维像称之为全息图。

撰文：Robert Applebaum

光 LIGHT

光能是一种最为人们所熟悉而又重要的能量。无光就什么也看不见了。不过，光之所以重要，还有其他原因。许多科学家相信，多少百万年前，是来自太

阳的光才激发起形成了地球上生命的化学反应。没有阳光，地球上现存的生物就无法活下去。阳光给地球上的生命以能量。植物把阳光能变为食物能。当光线照到一绿叶植物上时，一部分光中的能量就转变为化学能，植物就靠这种能量，把空气和一些矿物制成食物。这个过程便称为光合作用。几乎所有地球上的活机体都直接或间接地依靠光合作用，作为它们的食物能。

太阳光中有一部分为地球的大气或地球本身所吸收。这部分能量都最终转化为热能；后者使地球暖和，保持为活物所适应的温度范围。

光与电磁辐射

不同的物种能见到不同的光。人眼可见的光属可见光范围。其中包含：从红色经橙、黄、绿、蓝而到紫色的光（见：**颜色**）。有的人能看到的紫色或红色的范围，要比另一些人广。有些动物对光的感受范围与人不同。例如，蝰蛇的感受体能看见热线，而人类只能由触觉才能感受到这种射线。这种射线叫做红外辐射或红外线。蜜蜂不但能看见人类的一部分可见光，而且还对紫外线敏感，而后者则超出了人类可见光的范围。因此，尽管人看不见红外线和紫外线，但两者却与可见光有关系。现已有制成的用红外或紫外线探测或摄影的仪器。X 射线，亦可用来拍摄物体，它也与光有关。（参见：**紫外辐射**）

科学家们已经研究了所有以上的一些形式的能量，加上像无线电波、微波和伽马（γ）射线，都有相同的结构。它们均属由电场与磁场相互交替作用而形成的电磁辐射。（参见：**辐射**；**X 射线**）

光源

人不像许多别的动物，主要是靠视觉来弄清周围世界的。对远古之人，白天仗日光得以见物；夜间则一片黑暗而给他们带来危险。人类掌握环境取得最重要的一步，是他们学会用火——为一种光源——来征服黑暗。

火炬、蜡烛和油灯都是光源。它们都仗着一种化学反应——燃烧——来释放出我们见之为光的能量。有在黑暗中发光的动植物——发光蠕虫、萤火虫以及一些蘑菇——是将贮存在其体内的化学能转变为光能。这些生物则称之为生物发光体。电灯泡和霓虹灯都是由电能（这可来自化学能、机械能或原子能）转化得来的光能。

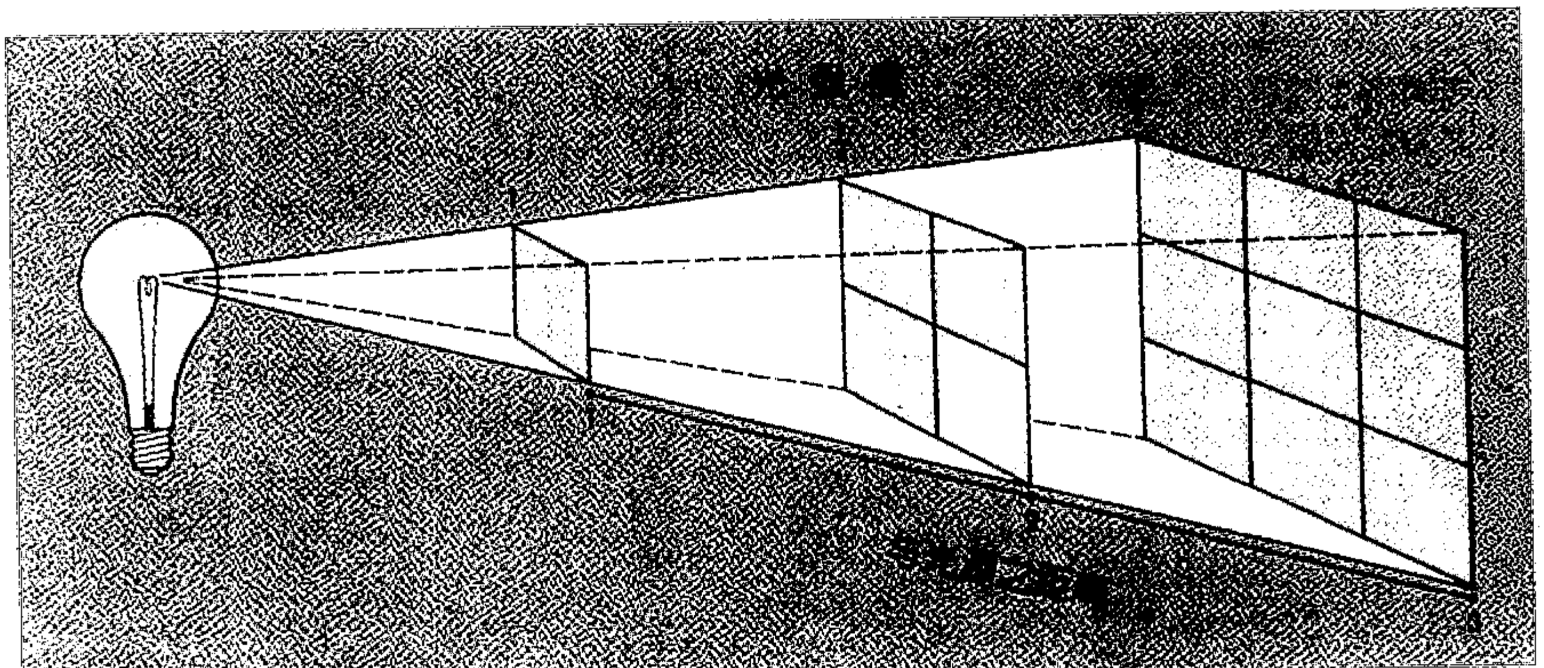
光源为视觉所必需。要看见一物体，必须有光从该物体射入眼中。当物体本身就为光源时，则称之为发光体。电照明器为发光体。太阳因其自身为光源，而为一发光体。本身并非光源的物体则必须受到发光体的照射后，才能被看见。月亮就是为太阳所照射的。只有它将其上的阳光反射到地球上时，我们——或宇宙飞船中的观察者——方能看到它。

在一全暗的室内，看不见任何东西。当闪光灯一亮，就能看见灯泡和被它照射的物体。我们头顶上的灯泡一亮，其灯光就为天花板、地板、家具和其光途中的其他物体所反射，而使我们看到它们。

加热一些物体则能使它发出可见光，以及不可见的热线。这便是通电时的电灯丝，电炉内红热的电热器和烧红了的煤块的情况。这些物体所发的光叫做白炽光。其他的不辐射热能而发光的光源叫做发光光源或冷光源。氖光灯和荧光灯都是发荧光的。

光的量度

一可见物的清晰度取决于照到其上的光量及光照的质量。一光源发出的光量（称为光的强度）是确定受照面效果好坏的一个因素。其他因素则有：受照面与来自光源光线的倾斜度以及面与光源间的距离。绝大多数光源发出之光——其中激光和探照灯的灯光除外——都散布在一较大的面积上。增加距离，则会大大减弱光源在其照射面上的照度。离开愈远，则同量的光将分布在一块更大的面积上，结果其照度按反平方定律而减弱。若受照面与光源的距离加倍，在一定面积上的光量便降至原来的 $\frac{1}{4}$——2 的二次方的倒数。若距离为原来的 3 倍，则该面积上只受到为原来 $\frac{1}{9}$——即 3 的二次方的倒数——的照数。



用反平方定律来描述从大多数光源所接收的光。若物与光源之距离加倍，一给定面积上只接收到原来 $\frac{1}{4}$ 的光；若距离成 3 倍，则只收到原来 $\frac{1}{9}$ 的光。

一种改变面上照度的方法，就是改变光源的发光强度。强度用烛光来量度（或用国际单位制中的坎德拉）。测量光量是用特制的一种蜡烛所发之光。现在1烛光的更准确的定义是：一完全（或绝对）黑体在铂的凝固点温度（2 046K），其上每平方厘米面上发光强度的$\frac{1}{60}$。许多光度计则是用来测量光源发光强度的装置。

不过，人们更关心的往往是测量表面（桌面、地板和室内墙壁）上的亮度，而不是来自光设备的光量。

科学家发现另一种有用的测量便是：在某段时间中，一个光源所给出的总能量。这种光能便称为光源的光通量，而以流明（lumens）作单位。理想的1烛光的光源共发出4π流明的光通量。

光与物质

怎样来观看物质，很大程度取决于光照射所发生的情况。通过透明体能或多或少看清东西，是由于光能不散射或不被挡住地通过透明体。透明物质后的从物体反射出来的光，能像根本不存在透明物质那样地通过后者。清洁的窗玻璃板和清水，都是透明的。

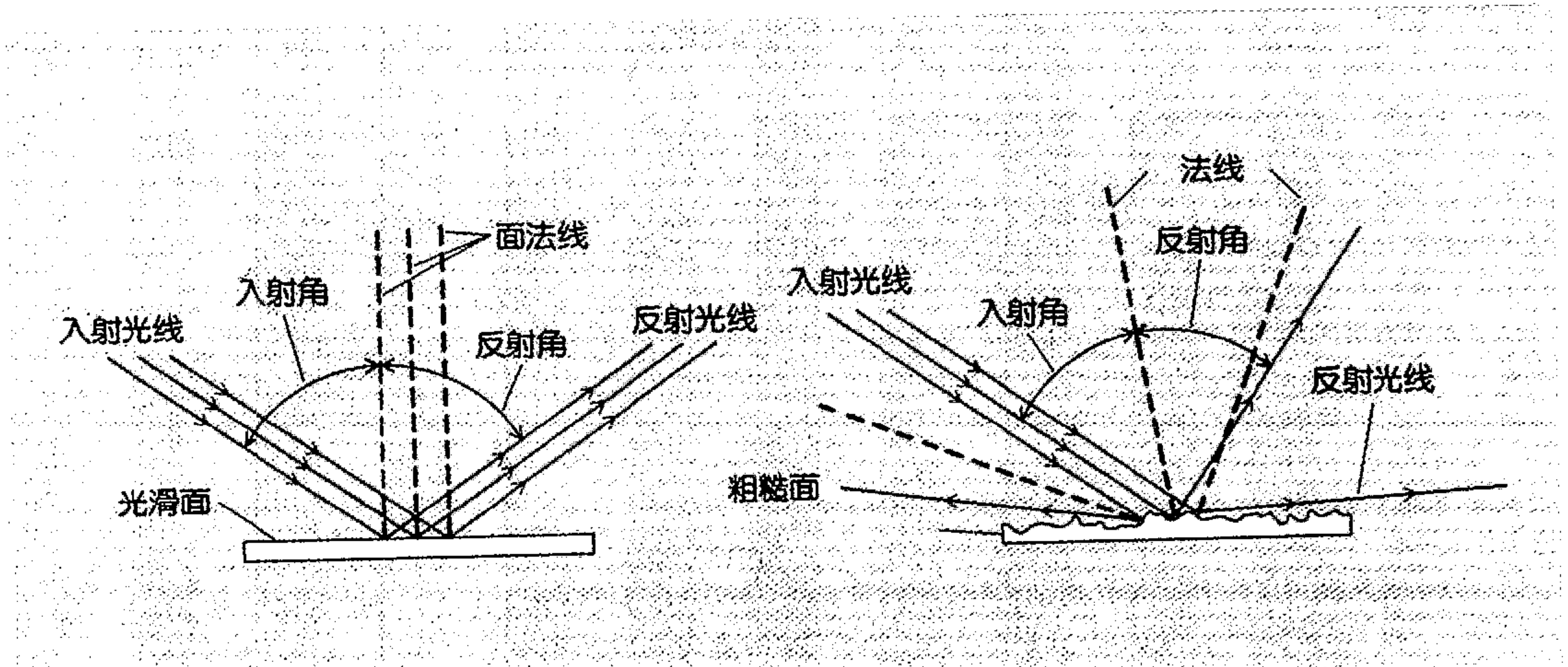
只有不透明的物面，才能被看见。光不能穿过不透明体，因而不能看见其背后之物。不透明体不是把光吸收了，就是把它反射掉了。被吸收了的光能通常转化为热能，而使该物体温度升高。汞、钢和木头都属不透明体。

半透明体则能让一部分光透过，但光在其中有散射，而看不到其背后的物体的像。通常将它做得极薄时就变透明了，而做得稍厚便不透明了。乳白电灯泡、蜡纸和有些布料子的门窗帘都是半透明的。

反射

光射到表面上而被弹回，即产生了反射。反射时，光的入射角与反射角的大小相等（反射定律）。对磨得很平而光滑的表面，则光以同一方向反射。这种反射就称为正常或镜面反射。镜面的反射光形成物像。它之所以发生是由于反射光与原入射光，除左右颠倒外，保持了反射前的原样。反射镜通常是在光滑玻璃的背面上，涂上一层薄金属（如银）而成。

不透明的粗糙表面，甚至微观程度上也如此，射至其上的光被散射，而使表面本身为可见。这便称为漫射或不规则反射。若把一块不透明而表面粗糙的生钢料面磨光，则它就会和镜子一样地对光规则地反射。



光在反射时，其入射角等于反射角，两者都从面的法线（过接触点的面法线）算起。对光滑平面，因它的众多法线相互平行，反射光保持光线在反射前在空间中的原样。但当是粗糙表面时，这时诸法线不相平行，光就被散射。

折射和色散

光在透明体中是走直线的。可是，当光线从一种透明物质走到另一与它不同光密度的透明物质中时——例如，光从空气到水，或从玻璃到空气——则在交界面（两物质的重叠面）处出现弯折。这种光线弯折便称为（光的）的折射。折射的大小程度，则与此两不同光密度物质中的光速差别有关——两者光密度差别愈大则其光速的改变就愈大，而光的弯折程度也愈大。部分斜没入水中的物体，一眼就可望出其折射现象来——该物在空气和水的交界面处，看上去是弯折的。透镜要折射光线。凹透镜（面向内陷）使光线发散。而凸透镜（面膨胀）则把光线会聚。

在17世纪前的多个世纪中，科学家们已知白光照到三棱镜上时，会产生含有几种颜色的宽展光带。其中有人认为这些颜色是光的亮暗变化所引起的。但在1672年，牛顿发表了他对光所做的实验结果。他将另一个棱镜置于其中

一种颜色的光路上,并不能得到更多颜色的光,却使光束展得更开。牛顿由此而得出的结论是:第一个棱镜把白光中的各组成光分离而展开,由此而断定白光并非纯色光,而是色谱中的所有各色光的混合体。(参见:**颜色**)

三棱镜之所以能将白光分解成为色谱,是由于不同颜色的光在棱镜(玻璃)中的光速略有不同,因此每种色光射入与射出棱镜时的弯折(折射)程度也稍有差别。紫光速慢下来得最快而弯折最厉害;红色光则慢下来得最少而弯折得最小。白光所展成的光谱便称为色散。

物理学家之定义色散,常以在一物质中,不同色光有不同的光速的这一事实为准,而不一定非有色谱不可。例如,白光通过一平行玻璃板,其中不同颜色的光在玻璃中的光速和折射程度是不同的。这也是色散。但从玻璃出来的各色光却又都倒弯回去而又合成了白光,所以最后不见颜色分离。

不透明体则除反射它本身颜色的光以外,将其余的各色光完全吸收掉。一片纯红色物质则将白光中的橙、黄、绿、蓝和紫色光完全吸收掉,而只反射出红色光。而某种颜色的透明物则除其本色外,在反射和透射中则把其他各色光,完全吸收掉。一纯蓝色的塑料纸则将红、橙、黄、绿和紫色光全吸收掉,而只透过蓝光(即透过该纸看到的是蓝色光源)和反射蓝光(即从纸的反射中看到一蓝色光源)。

光速的测量

光可以在真空中传播。在晴夜很容易看见恒星,尽管它们的光在真空的星际空间要走若干光年方达地球。实验室中,则可用实验方法来证实:光可在真空中传播。把一装有响闹钟的密闭玻璃钟内的空气逐渐抽掉,则一直可以看见其中的闹钟,但铃声则由弱到消失。这足以表明:真空中声音不能传播,但光则始终可以穿行。

描述光与物质间的相互作用,比去说明光本身到底是什么要容易得多。其原因之一是光若不与物质相作用则无法看到它。一束光除非直接入眼或由尘粒将部分光束反射入眼,将是不可见的。再有,光走得实在太快——快到多少世纪以来,人们一直对光从一点到另一点是否需要时间而争论不休。

伽利略则首先提出了一种测量光速的实验装置,后为意大利的一些科学家所实施。其法为:在两个山顶上分别站上一人,每人都带有一盏带挡光布的油灯。第一人打开点亮了的灯的遮布,而另一人一看到来自前者的灯光,就立即打开其灯的遮布。科学家们试图测得从打开第一盏灯到收到第二灯光达原处所经历的时间。不过,因光走得太快,而使科学家们由此得出光的传播是瞬时的。

丹麦天文学家 O. 罗默在研究别的问题中,偶尔首先遇到了一个可用来测量光速的方法。他测量了木星卫星的掩食周期,而察觉到掩食的周期之变化可达数分钟之久。当地球与木星互相接近时,则木卫掩食周期在不断缩短。而当地球与木星互相远离时,则其周期在不断增长。在 1676 年,罗默遂提出可用这种周期性差异,来测出光走过地球轨道直径长所需之时间。由于当时尚未知地球轨道的确实大小,同时木星不规则表面造成了卫星蚀周期上的误差,使他未能得到光速的准确值。不过,他毕竟证实了:光传播是需要时间的,但光速过快,而当时在地球上无现成仪器可测量它。

1849 年,法国物理学家 A. 菲佐设计了一种地面光速测量法来代替天文学上的不确定的测量方法。他的实验仪器主要是一个边缘上带齿槽口的旋转圆盘,使一束光穿过槽口而被一反射镜反射回到转盘上。圆盘上共有 720 个齿槽。当反射回来的光通过一齿槽时,就能为(盘前的)观察者所见到;若返回之光落到两(相邻)槽口之间,就显得全暗(光蚀)。他量出了光行距离(从槽口到反射镜和从后者到全暗时盘上齿槽口的全距离)。菲佐控制着光蚀的时间与观察着光蚀时盘的转速。从这些资料,他便算得空气中的光速为每秒 312 000 千米。后来的观测者对该法加以改进。J. 傅科用多面旋转反射镜取代了旋转圆盘,而得到的光速值为每秒 299 270 千米。

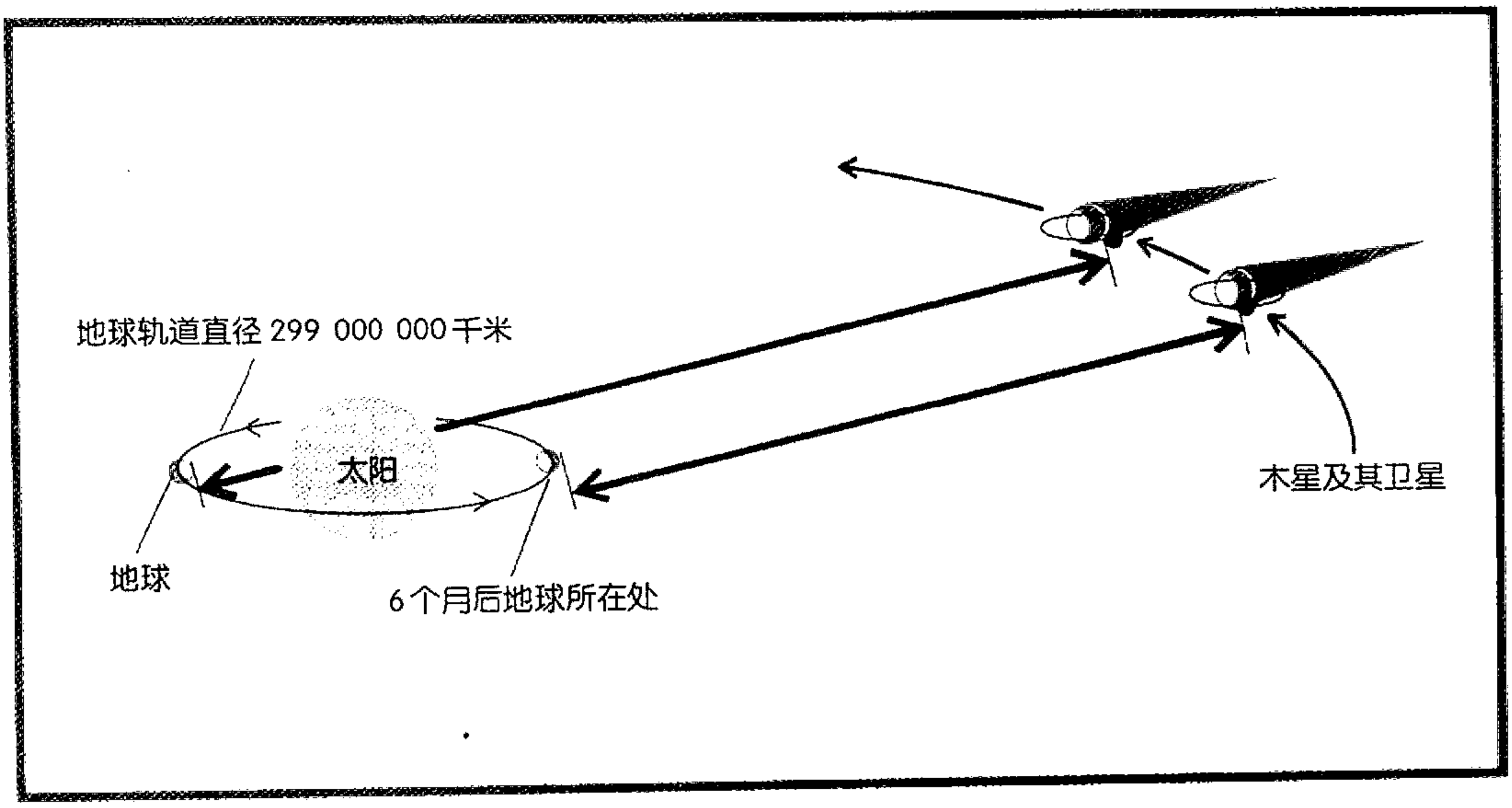
光的一件令人最吃惊与不解之事是 A. 迈克耳孙与 E. 莫雷发现的。他们非常准确地测量了顺着和逆着地球运动方向上的光速。他们原以为两个光速分别是原光速减去和加上地球的运动速度,而使两者稍有差别,他们所观察的情况,正如有一个人从窗口看到外边一驶速为每小时 60 千米的汽车。若有一驶速为每小时 80 千米的汽车赶过它,则后一车对前车,就像驶速为每小时 20 千米,将后车驶速减去前车的驶速。若一车以每小时 80 千米的车速去靠近另一车速为每小时 60 千米对开过来的车,则前者(对后者,反之亦然)的车速好像每小时 140 千米,或其自身的速度加上靠近它的车的速度。迈克耳孙和莫雷发现光却并非如此。无论观察者的运动快慢与方向如何,它的速度看来都一样。爱因斯坦所发展的相对论,有助于对此现象的解释。(见:**相对论**)

在真空中光速的公认值为 2.997924562×10^{8} 米每秒,这是宇宙中的一个基本常数。根据相对论,当物体速度近光速时,时间和距离都会发生变化(相对静止者而言:长度会缩短,而周期运动则变慢),但测得的光速值却是常数。

光——波还是粒子

到 17 世纪,关于光的行为,就其出射机制而言,已知有两种学说。一种学说主张光线是由一束微粒流组成。另一种学说则认为光犹如一种波动。这两种观点现已一起合并在现代的光学理论中。

牛顿认为:光是由从光源发射出的微粒所形成的。他相信由白光分解出的各种不同色的光是由大小不同的微粒组成的。他又相信:光的折射是由两物质中更密的光介质,对光粒子有更强的吸力所造成。既然吸力更强,则按其理论,光密介质中的光速应较大。支持光微粒说的一种观点的基本例证,就是光的直线进行。这点可由一小而稳定光源的出射光,照射到比它大的物体时看出。受照物的暗影有尖锐的边界。牛顿想到若光为波动,则它便会稍微绕过物体,而使物影的边界模糊。他指出:水波越过障碍物(例如,码头上的桩)时会发生弯曲,而声波过山和绕过建筑物墙角时也会弯曲。但牛顿也认识到单纯由粒子大小的变化,并不足以说明所有的光学现象。当他设法去理解肥皂泡上闪烁的颜色时,就不得不引入光粒子在作振动的观念。

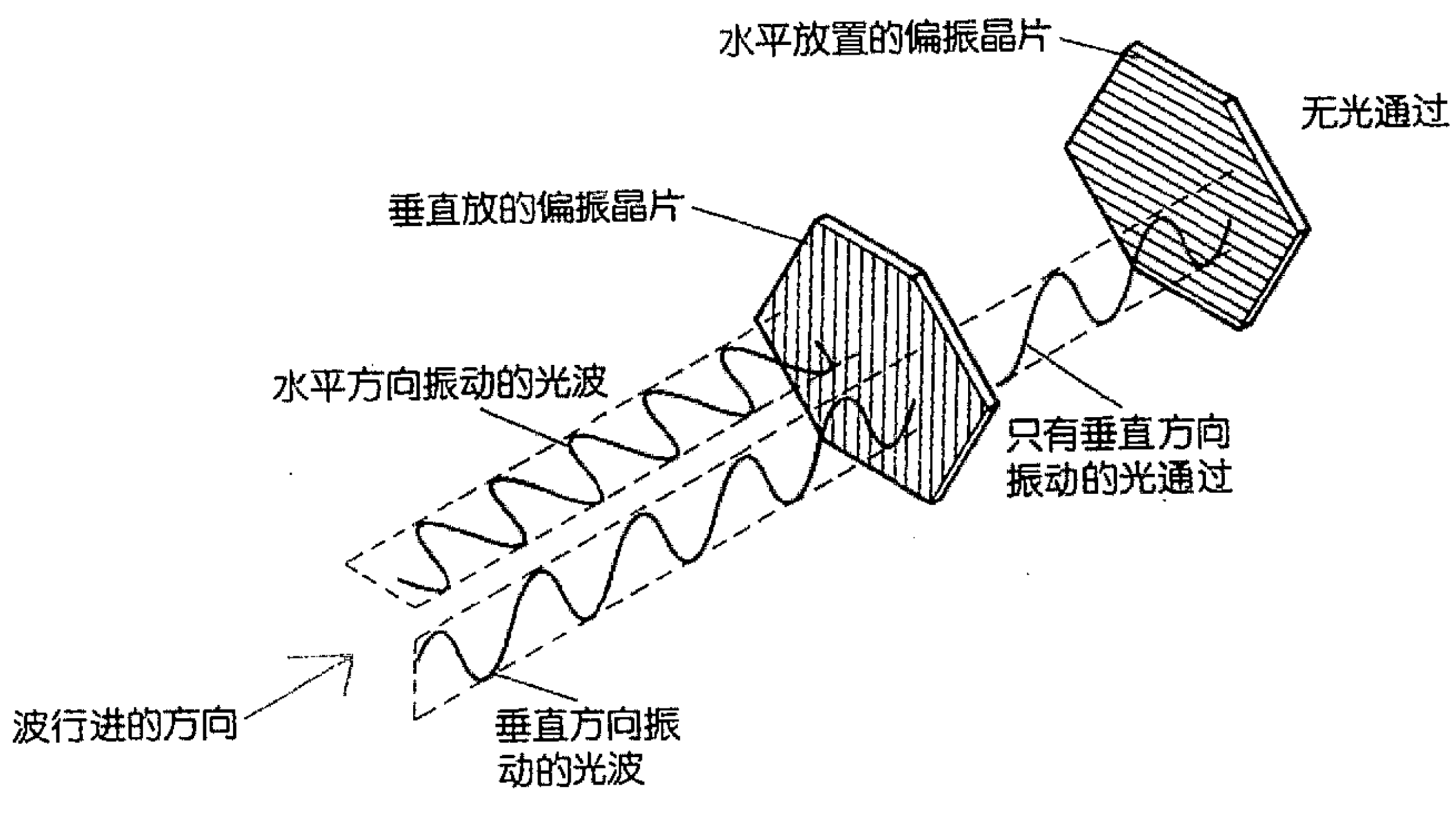


木星与地球间的距离，一年中随时在变。O. 罗默注意到木星卫星掩食的间隔随地球向木星接近而变短，而随地球退离木星而变长。他指出：这种变化是光越过地球轨道直径需要时间的缘故。

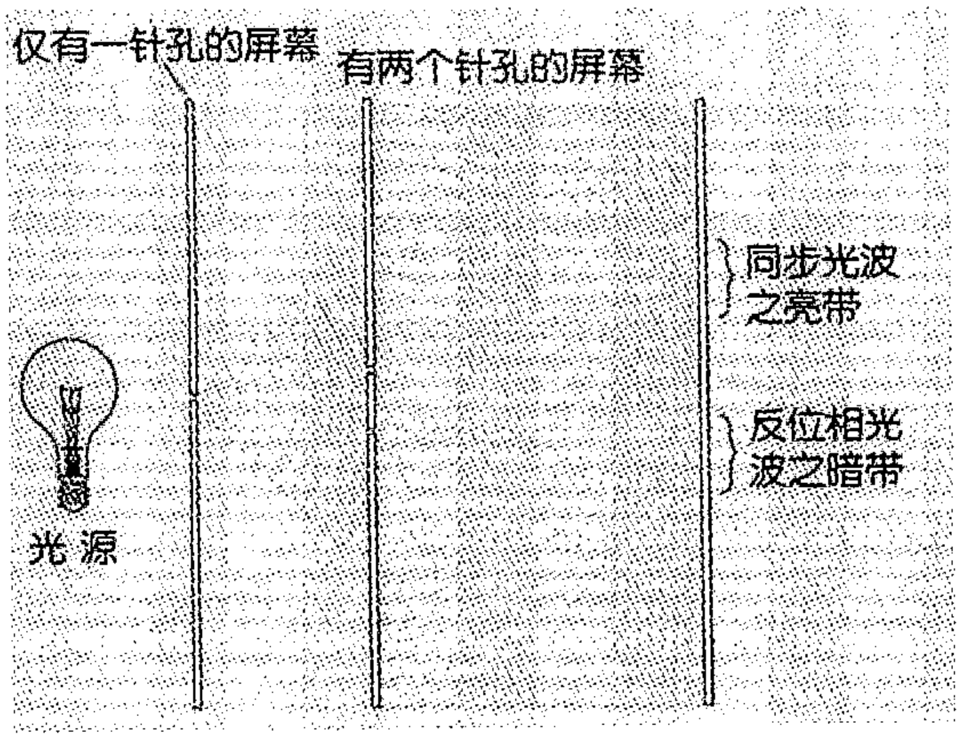
荷兰物理学家 C. 惠更斯提出：光是一种波动。他设想一种叫做以太的物质，充满整个宇宙。光在其中通过时，便产生了光波。惠更斯还假定光波如声波一样——是密聚与稀疏交替的以太。这种波称为纵波，因为波振动的方向和波的走向相平行。

偏振光

微粒说也好，波动说也好，都无法真正解释在某些透明晶体中的光偏振现象。牛顿和惠更斯都知道：当光线穿过某些晶体后，透出来的光会大大减弱。如果在途中再摆上一块与前者同样但方位成一定角度的晶体时，光线仍能通过。然后，不管徐徐旋转那块晶体，通过第二块晶体的光都会变暗，直到全被挡住。显然，第一块晶体结构中必有某种机制，它只让一部分光通过。当第一块晶体与第二块晶体对齐时，后者则让同样的光通过之；当两者不对齐时，后者就会挡住从前者来的光。



光的偏振现象可用光为横波的理论来加以说明。光波振动平行于偏振晶体中的一些部位时，能够透过它。而其他方向的振动则为该晶体所阻。



在杨氏干涉实验中，经过第二屏幕上两针孔的光，在墙上形成了一干涉图样。这种图样是由波所形成的。

牛顿由此推敲出：由于光粒子的边界有各种形状，其中有些是被晶体结构阻斥的，因而产生了光的偏振。这种解释是不能令人满意的。而惠更斯则进而做了"纵波可以产生偏振"的更复杂的假设。无论波动说还是微粒说，都未发展到足以解释所有观察到的光现象，只是在牛顿盛名的影响下，而使当时多数的科学家接受了微粒说。

光绕角弯曲

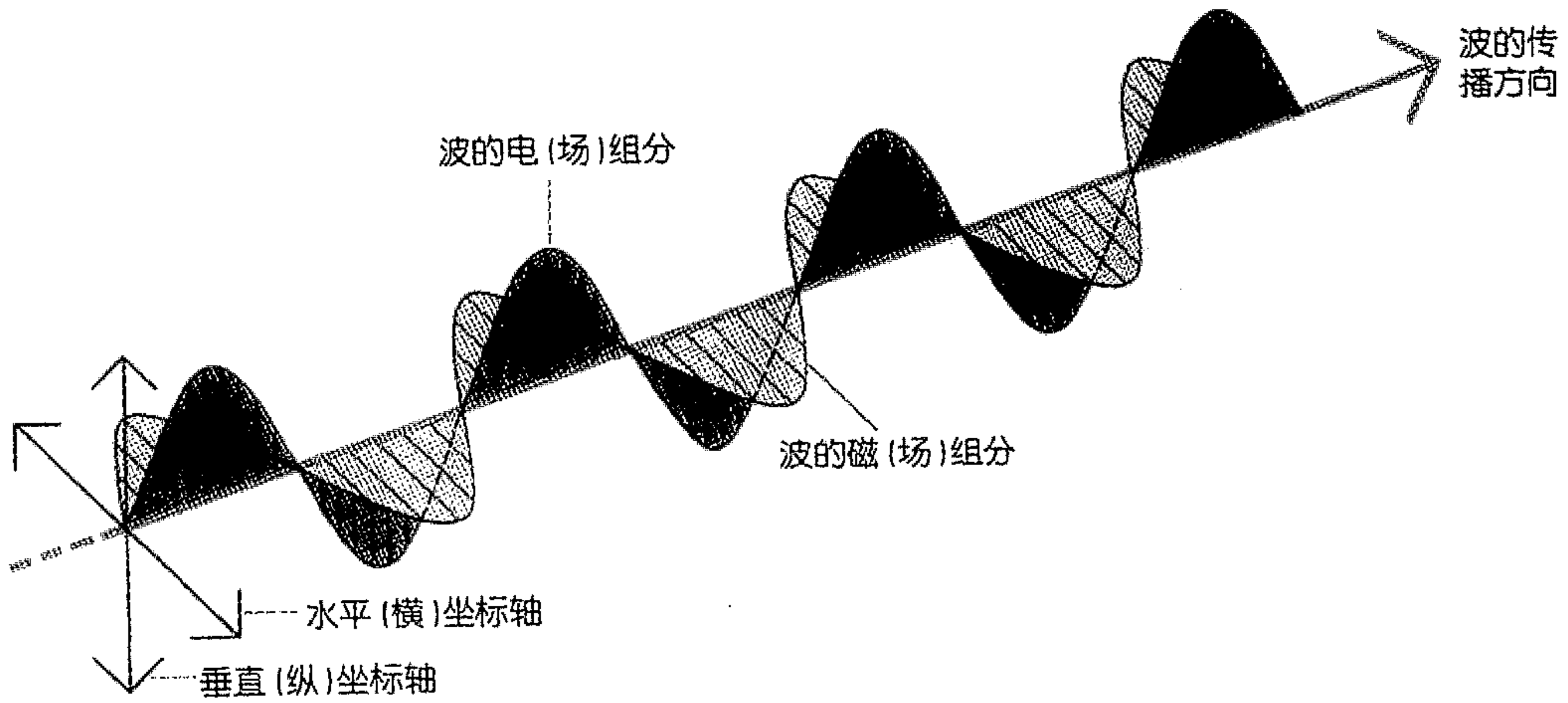
19 世纪初，英国医生 T. 杨进一步发展了光的波动说。他证明了：光的波长过短以至其越过一障碍物时，其弯曲程度是小得看不出来的。他证明了点光源照物虽形成边界尖锐的影子，可在其边缘附近处，由于有些光会弯入暗影区，而产生了细密的亮暗交错带。这种光的散开便称为光的衍射，这能在某些场合下观察到。一细柱状光源，像日光灯，便可用来方便地显示衍射。不透明物中的很狭的缝，或用两手指相挤而使光仍可过其间，都会造成光的衍射。把狭缝放在一睁一闭的眼前 30 厘米至 60 厘米左右处，狭缝与柱光源平行。光经过缝后，在缝的另一边便可看到带状的彩色像，或彩色图像。彩色的图像，是因为狭缝的衍射，和棱镜的色散作用一样，会把白光分离为各种颜色的光。杨氏从其观察到的衍射现象，得出"光是一种波"的结论。

用三个重要的测度来描述波——波速、频率和波长。频率是在定长的时间中测出通过某一定点的波数。波长是从一个波峰（波的最高点）到下一个波峰之间的距离，或者说是从一个波谷（波的最低点）到下一个波谷间的距离。如果波的全部有相同的波速，对某一定点，在同一时间内有数目大得多的短波通过，而只有数目小得多的长波通过。波速等于波长乘上频率。

杨氏利用波的干涉原理建立起了一个测量光波长的实验装置。当两列波相遇时，它们之间以一种可推断的方式相互干涉。两船的船尾所产生的水波，便显示了这点。当两船的尾波相遇，便形成了波涛。有一部分波升高（上升），而另一部分则下降（降低）；每个波可互相加强，也可以互相抵消。在两个波的波峰相重合处，波就向上升。在两波的波谷相重合处，波就向下深沉。若一波的波峰与另一波的波谷相遇，则两者互相抵消，如波强相等则水面可保持水平。

在其干涉实验装置中，杨氏的做法是：让日光透过一针孔而成的细光束为单个光源。这束光落到有两个极靠近的并列的小针孔的屏幕上。其光线通过其上每个针孔后，便会弯曲四射（衍射）。由于两个针孔很接近，当这两针孔发出的光相遇时，发生相互干涉。其干涉图样可在两针孔后的一屏幕上得见。根据这个干涉图样及已知的两屏间之距离和两孔的间距，杨氏从中得以求出可见光的波长，约为 1 微米（百万分之一米）。

后来的测量表明，可见光的波长范围在 7.60×10^{-5} 厘米到 3.85×10^{-5} 厘米之间。每种颜色的光都有一定相



光波或任何电磁波的传播，被描述为电场和磁场的升落，电场与磁场两者相互垂直，且都垂直于波的传播方向。

应的波长范围。红光的波长最长。从橙经黄、绿、蓝到紫色，其波长逐渐减短。

横波与偏振现象

杨氏和法国物理学家 A.J.菲涅耳相配合，发展了光是一种横波的观念。这种波和拴在柱上拉紧之绳作上下抖动所生之波相像，而不像是纵波的声波。绳子本身只作与其波的前进方向相垂直的上下运动。杨氏与菲涅耳提出：光波的运动大概也是与波行进的方向相垂直。这运动可以是上下旁侧的任何方向，只要它们均垂直于光的传播方向。用这样的波，能解释偏振现象。若有一偏振晶片，它只许沿晶体中的某一特定方向振动的光波通过，这光若遇到与前晶体方向成一定角度的另一晶体后，则后者可将来光全部挡住。因为后一晶体在转向后只能接受与来光振向不同的光，而这些光早被前一晶体挡住了。菲涅耳则在假定了光为横波的前提下，对他所知道的光现象，都进行了计算。

对于空气以外的介质中光速的测量，给牛顿的光微粒说带来了一些额外的困难。该学说假设在光密介质中的光速，比在光疏介质中要快。菲佐与傅科对在若干透明物质中的光速曾作过测量，结果发现：较空气为密的介质中的光速，比空气中的小。

不可见光

在1800年左右——当杨氏正在发展其光波动说之际——有三位科学家发现：在白光的彩色光谱的两边，存在有不可见之射线。英国天文学家 W. 赫歇耳爵士对棱镜所色散的光谱中的各色光的温度，进行了测量。当他把温度计从紫区向红区移动时，观察到温度的上升。当他把温度计移到红区以远处，发现温度升得更高。赫歇耳由此发现：看来在与可见光谱紧相连处，存在有一热而不可见的射线。这种射线便称为红外线，因为它正好处于紧靠无光可见的红光的外侧。

紫外线是 J.W. 里特和 W.H. 渥拉斯顿发现的，他两人各自独立地对光对氯化银的作用进行研究。把氯化银置于紫光处则变黑。当把这化合物放到光谱中紫光的更外处，则发现变黑得更厉害。因此他们得出：在光谱的紫端之外，有一引起更强化学作用的不可见辐射。

1864年，苏格兰物理学家 J.C.麦克斯韦发表了他的电磁理论。他推导出一组方程，预言存在由电扰动而引起的电磁波。他据此而算出这种电磁波的波速大小正好与光速一样。因此，麦克斯韦断定：光是一种电磁波。当一支光线在空间行进时，其运动由电场与磁场的增长与消弱所组成。其中，电场方向与磁场方向互成直角，且两者都与波的传播方向相垂直。

麦克斯韦的理论隐含存在比红光波长更长和比紫光波长更短的电磁辐射。在1887年，H.赫兹制出了比红外线波长更长的无线电波，这样，便证实了麦克斯韦的电磁理论。（参见：**辐射**）

光——波和粒子

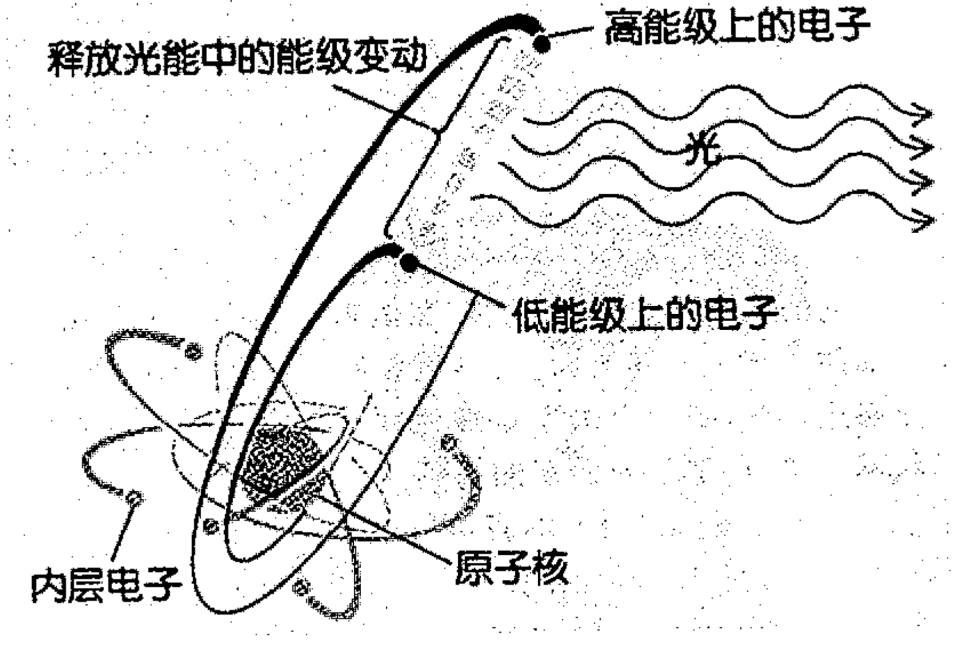
1900年，德国物理学家 M.普朗克创立了一个说明黑体辐射的新理论。黑体是具有全黑表面的物体，其表面能吸收掉射到其上的所有电磁辐射，且发出取决于所处的温度的一定方式的辐射。这样的理想物体实际上并不存在，但有些物质与其很相近，而可用来对黑体理论进行测试。观察到的现象是：黑体发出的所有波长的量，彼此不相同。事实上，它发出的有的波长比另外的要多。当温度升高时，发射光趋向短波一方。换言之，最强发射波的波长和温度成反比。普朗克认为物质只能以一定的数值的能量（称为量子）来互相交换，而不能吸放数值在量子之间的能量，以此来解释以上的热辐射现象。

1905年，爱因斯坦将这一量子观念加以推广，以此来解释光电效应。爱因斯坦试图解释：观测到的释出电子之动能与射到金属面上光强无关，而电子最大动能仅与光的波长有关的事实。爱因斯坦为此而提出包括光在内的电磁辐射能总是成量子束的假设，也可用来解释光电效应。这就重新加强了光的微粒说。后来的许多实验，都支持了光能量以量子方式传播的观念。一单个光粒子具有一个量子能，称为光子。

量子理论可用来说明物质之所以成为光源。当一些元素受热时，它们会发出一定颜色的光。可将这种光分解为由许多亮线组成的光谱（见：**光谱和分光镜**）。每种元素有其独特的光谱，并可加以准确测量。从光谱可断定其发光的元素，故天体的化学成分，可分析其光谱而确定之。

科学家们奇怪：为何加热给与每种元素以大小范围很广的能量，但其出射的却只是由特定的光能所形成的光谱。近代的分子结构理论弄清了这种现象。一个原子是由一个重而带正电的原子核，与其周围围绕的一些轻而带负电的电子所组成。

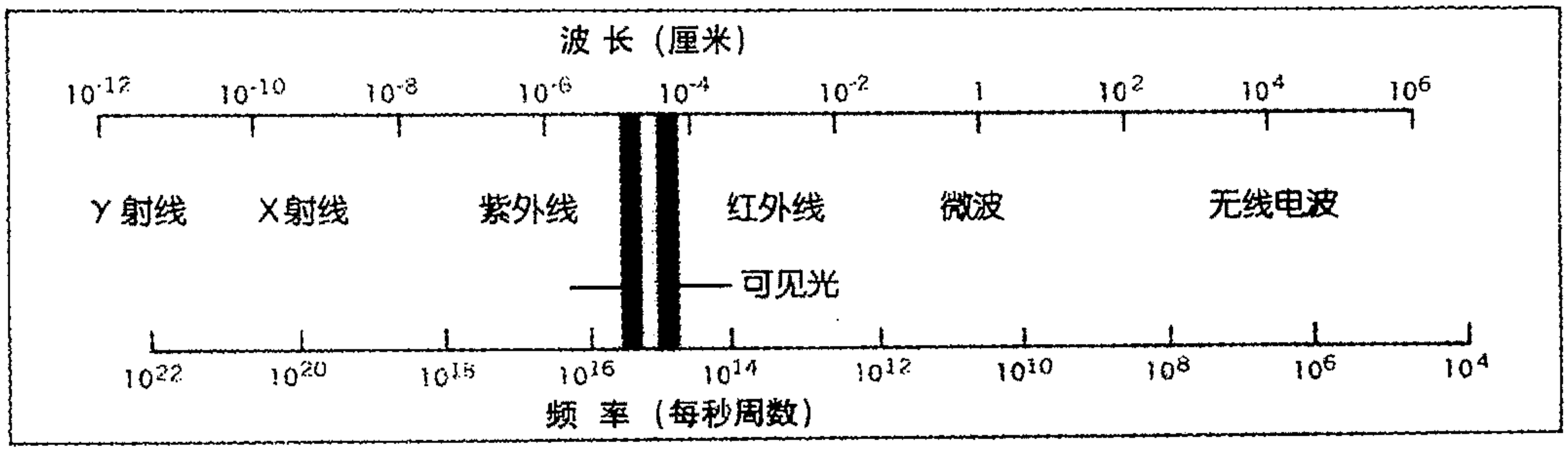
近代理论指出：一原子中的电子，无论与核和其他电子之间，都有固定的能量关系，这称为能级。这些能量对一种元素的原子，都是相同的。一个电子必定要占有一个能级；它决不能具有任意能级间的能量。



近代理论，用电子的能级来解释物质之发光，如上图所示。处于较高能态的电子会落到低能态，其能量差则以电磁辐射的形式放出。

当原子受热后，可能有足够的能量，使一个电子升到较

高的能级上。但通常，它会又跳回到低能级，并发射电磁波，它的能量是两级能量之差。当这种发射能量在可见光的范围内，在这元素的可见光谱中，就会出现一条亮线。每种元素有其不同于他元素的光谱，这是因为每个元素的原子中，有不同数目的电子和不同的可为这些电子所利用的能级。



电磁波谱的范围是：从高频短波的具很高能量的 γ 射线，到低频长波的无线电波。可见光波段只占整个电磁波谱中很短的一段。

在 20 世纪初，当时的原子理论对何以用波动而又用微粒来描述光，尚未作出解释。物理学家对两者都要用到，这就要看在指定的情况下哪个更有用。这个佯谬最后在 1924 年，为 L. V. 德布罗意所解决。他假设：一向视为粒子群的物质，也具有波动性。这种波动性也为有关粒子（如电子）的一些实验所证实。（参见：**能量**；**物质**）

审核：Dr. John H. Pomeroy 和 Dr. A. A. Strassenburg

颜色 COLOR 简称为色。视觉世界的显著特色之一就是它的丰富多彩。地球上最广延的部分和它的大气层——空气、土壤和水——通常是带色的。天空的颜色或蓝、或黑、或灰，甚至是红的、紫的。土壤会是黑的、棕的、灰的乃至红的。水域则显示蓝或绿色。人们从外界获得信息的重要方法之一，就是观看物体的颜色。当植物的绿叶变黄，很可能就是病的征象，也可能是一年中的季节信号，因为许多树叶在冬天都会变黄。

水果的颜色能表明其是否成熟。青香蕉是生的，黄香蕉是熟的，而带褐或黑斑点的黄香蕉则是熟透了的。青番茄是生的，而熟番茄是红的。颜色还能告诉我们食物的味道。褐色大米与白色大米的味道就不一样。

说一个番茄是红的，这到底是什么意思？这是否指它的颜色和它的形状有共性呢？番茄在黑暗中摸起来仍是圆的，但它却并非红色。其实，它根本就没有颜色。再有，若用亮蓝光来照番茄，则看上去不是红色而是黑色。因此，颜色与形状不一样，它是随光而定的。其实，颜色是不能脱离光而存在的。不过就某种意义而言，可以说番茄是红色的。设法用合适的光照上去，则番茄看上去便是红色的。番茄的颜色和照射它的光之间的相互作用方式是有一定关系的。

然而，颜色还和观察它的人和动物本身有一定关系。要看出番茄是红色的，必需观察者有识别颜色的能力。有不少动物并不能辨别颜色。它们能看到的，只是黑、白和灰色。豚鼠所看到的番茄，只是一灰色物。颜色之所以存在——如番茄是红的——是由于某些人和动物的脑和眼中产生某种作用，而使他们能看出颜色来。

可从多种角度来对颜色进行研究。例如，化学家和物理学家对颜色都特别感兴趣。有时，化学制品的分子结构或原子的物理排布，会揭示它们何以只反射某些颜色的光。研究光学——物理学的一个分支——的物理学家，也发展了有关颜色的理论。生物学家与心理学家则用了许多有趣的方法去发觉人眼和脑之所以能察觉出颜色的原因。

午间的阳光看上去是白色的。但令这白光过一三棱镜后，就有如虹霓般的宽彩色光带产生。这种色列称为可见光谱。

在 17 世纪中，牛顿发现：已过一三棱镜的各色光，不可能用另一棱镜使之产生更多颜色的光。红的仍是红的，绿的仍是绿的，如此等等。不过，他发现：第二块棱镜会把光谱中的各色光分得更开。一窄红光带过第二棱镜后，会成一更宽的红色带。牛顿还发现：经过第一棱镜的光，使之再过位置颠倒过来的同样的第二棱镜后，则便又成了白光。通过这些实验后，他断定：白光是许多不同颜色光的混合光，而棱镜能使各色光弯曲而互相分开。

到 19 世纪后期，光以电磁波的形式传播的理论被人们所接受。波是以其波速、波长和频率来描述的。对一既定的介质，如空气或真空，所有光波的光速都一样，但其间的波长与频率，则有所不同。波长与频率互成反比——波长愈长则频率就愈低。对可见光而言，科学家们往往只用波长来标定。

每种颜色的光都和一定范围的波长相关联。称为绿或红色者，并非只指一种确定的颜色。称为绿色者，在光谱上包含很宽的一段颜色光，其中包括：青蓝色、草绿色和淡黄绿色，以及许多介乎其间的绿色。另一宽色带就是红色带，波长几乎相等的诸光的颜色，人眼看来则完全一样。

光谱中的颜色范围的顺序为：紫经蓝、绿、黄与橙而到红色为止。紫光的波长最短，其范围约是 380 纳米- 450 纳米（1 纳米等于 $\frac{1}{10^{-9}}$ 米）。红光的波长最长，其范围约是

630 纳米-760 纳米。波长短于紫光的为紫外辐射或紫外线；而波长长于红光的则为红外辐射或红外线。两者均不引起人的视觉。(参见：**光**)

色光的加法调色法

牛顿发现：将两种不同色的光混合后，则可产生他种颜色的光。当他用不同的三棱镜将不同色的光束投射到一白色的背景上时，则发现有时这种新色看来与光谱中的某些颜色一样。

例如，红光与黄光混合后，其颜色像光谱中的橙色光。但用这法来混合的光，也会与光谱中的全不一样。这样，红光与紫光混合而成的紫红色光，无法和光谱中的任一种颜色相匹配。牛顿还观察到，某些色光混合后，则产生一灰色或白色光。他发现：将三种不同的色光相混合常可得到白光。

用三束不同的色光，几乎可配出所有的颜色。这三种颜色，若分别取自光谱中央处与两端的三种颜色，则能配出的颜色达最多。换言之，将红、绿、蓝或紫三种色光相配合，就能产生最宽范围的颜色。因此，就把红、绿和深蓝色称为调色法中的三原色，或相加原色。这三种颜色较其他配色更多地用来形成混合色光束。

只用两种相加原色按一定数量混合成的光，称为第三种原色的互补色。当红色与绿色光混合而生黄色，后者便是蓝光的互补色。红光与蓝光相混而产生一种紫中带红的所谓洋红色光，这就是绿色的互补色。绿色与蓝色相混则生深蓝色，即红色的补色。

当相加原色按其他比量相混合，则形成居间的颜色。这件事实便是色度学(或颜色测量)这门科学的基础。一旦对三原色得到一致公认，由之产生的其余大多数新颜色，均可按混合中三原色的相对量来定义。

减式调色法

当光照到一物体上时，它可以透过，可被吸收或反射掉。例如，玻璃窗几乎全部透过其入射光。因其不改变光线，所以玻璃窗便是无色或透明的。干净的黑板则相反，几乎完全吸收了其入射光，因此——"黑"就是无光——看上去它就是暗黑的。一塑料墙壁既反射又吸收光。若是白墙，则几乎将入射光全都反射掉。(参见：**光**)

有时，一物质吸收了入射光中的某些，但并非全部的色光。例如，红番茄吸收了除红光外所有波长的色光；而红光则在番茄的表面层中，从一个分子跳到另一个分子之后，就又向外返回。当蓝光(其中无红光波长的光)照到番茄之上，蓝色波长光就被全吸收掉。这时蕃茄就变成了黑色，因为它不反射光。

像红赛璐玢、红塑料或红玻璃之类的红透明体，它们吸收了入射光中除红光波长以外所有波长之光，只让红光部分地通过，另一部分则被反射。这类透明体称之为滤色片；因为白光射入时，只让其自身颜色的光顺利通过，而把其他颜色的光全都滤掉。

滤色片是减式调色法的基础，这正如色光束是加式调色法的基础一样。减式调色法是一个复杂的过程，这是因为不同滤色片中的不同染料分子，虽然吸收掉的是不同波长的光，但可能会引起同样的色觉。下面介绍的减式调色法，假定用的是理想的滤色片。

当用一束白光射到一黄滤色片上时，黄光波长的光能通过该滤色片，而所有其他波长之光则被吸收掉。由于黄色是可由红、绿两色光混合而成，这两种波长之光便通过了滤色片，但蓝光波长之光——黄光的互补光——则为该片所吸收。黄有时称之为负蓝，因为该滤色片会把蓝光滤掉。同样地，洋红色滤色片让红和蓝色的波长通过，而吸收掉其绿色互补光的波长。因此，洋红色有时就称为负绿色。

若在黄(负蓝)滤色片上加上一洋红(负绿)滤色片而令白光先后通过两者，则前片吸收了蓝色而后者吸收了绿色光，最后只有红色光通过。

青蓝色(负红)滤色片吸收了与其互补的红色。若把黄、青蓝和洋红色的三种滤色片摞在一起而使白光通过之，则三个相加原色全被吸收掉，而无光出来。这种方法称为减式调色法。因为滤色片从入射光中，吸收或减掉了颜色。

配色颜料常显出减式调色的复杂行为。黄与青蓝两水彩混合后，给出一至几种的绿色，这要由原两水彩是何种颜料来确定。若再加上洋红色水彩，结果就成了黑或灰色。不过，可用特别的方法，将色素与可加调色物相结合。一个著名方法有时称为点画派手法，这是有些后期印象派曾用过的方法。他们用纯光谱色画出互相靠近的小点，这样就使从一个点反射出来的光，与旁边一点出来的光混合相加。这个学派最著名的一幅画就是 G. 休拉的"大碗岛的星期日下午"。

在自然界，常有波长相减或滤色的现象发生。日落时出现的红与橙色，就是由天空的滤色作用所引起。天空散射了短波光，如蓝光。在中午，当太阳在头顶上时，蓝的散射光在空气中走不很远，便到达了观察者的眼中。这时天空便显蓝色，因有不少蓝光从天空中反射出来。但在日落时，日光在到地球前，必须途经更厚的空气层。这时蓝光早就大部散射掉，而只能看见波长更长的光——合起来显示出橙色与红色。

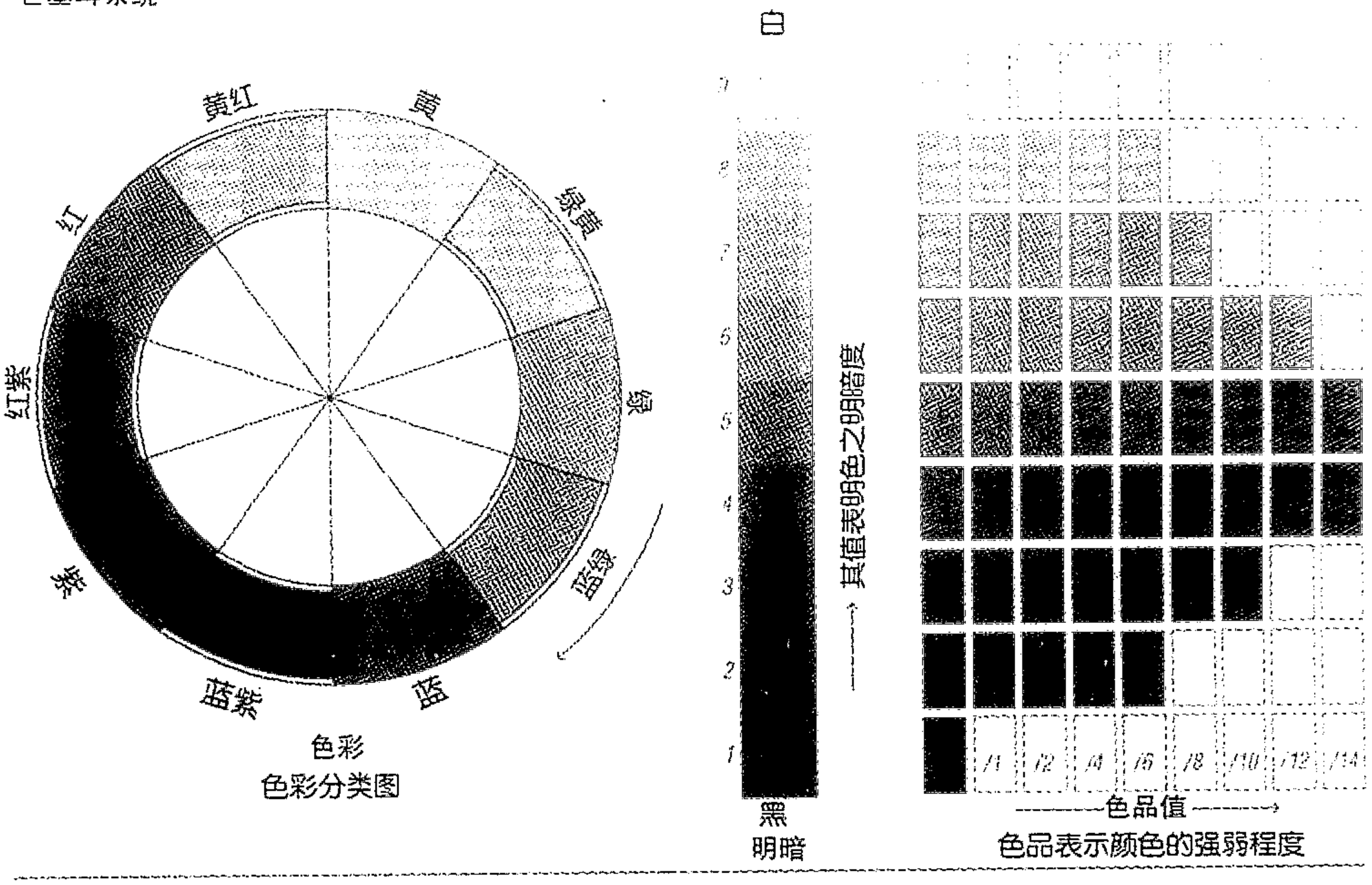
颜色分类系统

制售和使用指甲油、口红、颜料、墨水及其他产品的人们所处理的，是很小的颜色差别。现已建立了一些颜色分类系统使人们能确定和得到所需要的准确颜色。其中有些系统表明在通常白昼光下，这些颜色的差别程度。另一些则对特殊光源(如钨丝灯)的光通过各种不同颜色的滤色片后的波长做了计算。

芒塞耳系统是按三种性质——色彩、明暗和色品——来排布颜色的样品。色彩就是通常的"颜色"的意思。红、蓝、绿和黄都是色彩。芒塞耳系统把所有的色彩分为 10 种类型：黄，黄绿，绿，青绿，蓝，深蓝，紫，深紫，红，和黄红。常将这些色彩排列成圆。明暗在芒塞耳的术语中指色样的明亮程度，一黄色料会是明的，而蓝色料则会是暗的。一系列从黑到白的灰色，最好地定义了明暗这一词。色品的定义是：给定样品中色彩的含量。色品(chroma)一词与色彩(chromatic)一词有关，描写从阴暗到鲜嫩的颜色范围。例如，一块砖和一个熟番茄可能会有相同的色彩与明暗。两

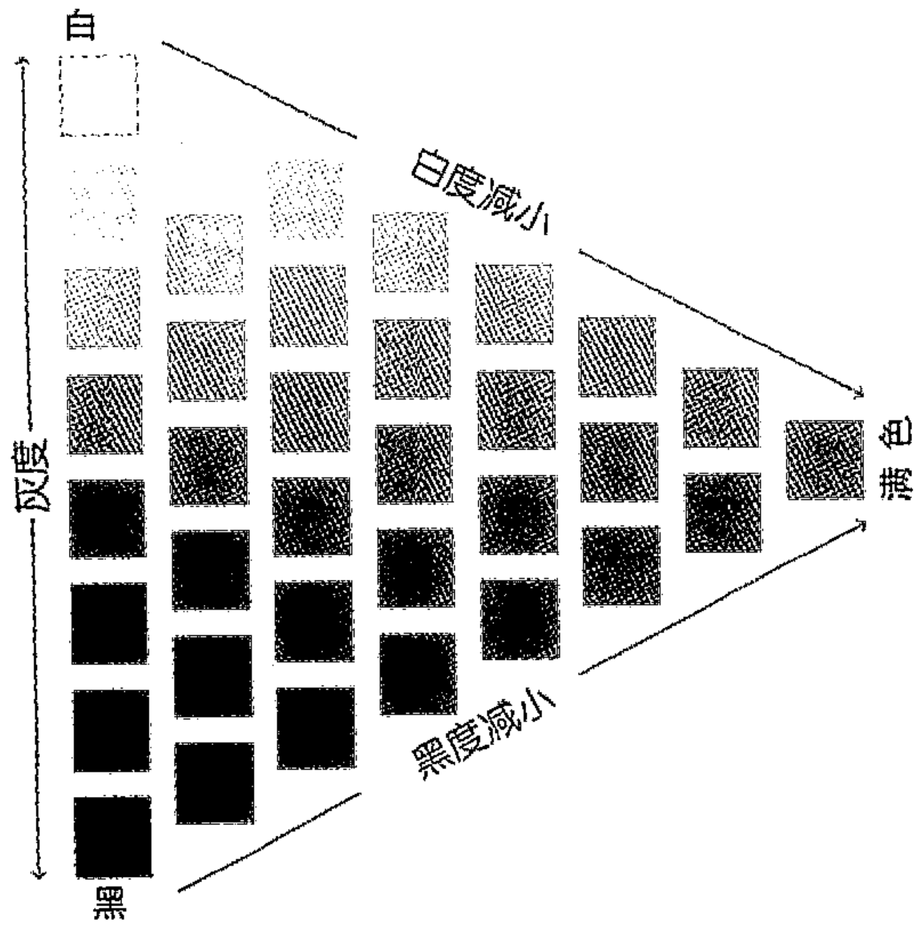
者颜色之差别则是在色品上。因此，颜色可因色彩明暗和色品而变。

芒塞耳系统



芒塞耳系统给每种颜色安上一个数字-字母的组号。因此，5GY为绿黄色。这系统的明暗程度和色度值则以数来表示，一色片的明暗数写在一斜线之前，而色度值则写在其后。色片5GY6/10为黄绿色，其明暗数为6，而色度为10。

奥斯特瓦尔德系统



奥斯特瓦尔德系统将一个色的众样品排列成一三角形阵列。黑、白和最纯色样则置于三角形的顶点处。

除芒塞耳系统外，还有一些其他的颜色分类系统，它们都与色觉有关。其中的两个例子就是：美国光学协会的色均匀标度（OSA—UCS）和瑞典的天然色系统（NCS）。NCS系统颜色的排列基于白、黑、红、绿、黄和蓝的感觉，面对给定颜色，则只有四种色觉。例如，对紫色由白、黑、红和蓝四种色觉组成。按经验，人们可指定每种色觉所占的百分比。

还有一些分类系统是以色料混合物为基础的。这些系统对目测调色非常有用。这类例子，有奥斯特瓦尔德系统和泛色调匹配系统。

最后，现已发展了基于眼睛生理学上的知识与广泛实验研究的数值系统。这些数值系统已为国际照明委员会（CIE）所标准化。颜色是由三个数值来定的，这三个数值与眼睛中的三种色的接受器有关。要定下一种色，得先作物理测量，来看要用多少色料，才能反射或透过可见光谱中的光。接着，用这种波长信息，经计算而得出这三个数值。用这种系统来定下大多数人造物的颜色，从而形成了现在或未来彩色电视信号标准化的基础，其中包括高清晰度的电视（HDTV）。

色化学

减式调色是基于物质对光的影响方式。当白色光束遇到某些种类物质时，便要产生变化。有些光便留在物质之中——即被吸收。结果，出射光——反射或透射——便会改变颜色。产生这种现象的部分原因，取决于该物质的结构形式。

一切物质都由原子组成。每一原子都由一称为原子核的重中心与绕核不断运动的单个或多个电子所组成。根据原子理论,每个电子都有固定的为自身可利用的能量。一个电子的能量可由其某一个或别的一些原子能级所支配,但它不能具有介于这些能级间的能量。

有时,一原子的两电子能级的能量差和具有某波长的光量子的能量相等。这是过渡化学元素族的特征。这些元素的原子在化合时,会吸收可见光。光能就会使一些电子升到更高的能级上。然后,电子便又回到其正常的能级,而以热的形式释出这些原吸收了的能量。例如,大家都知道,过渡元素钴的化合物当其吸收和耗散了红光后,余下蓝辉光。

形成化合物的许多分子或原子集团都有密集的电子能级,这种情况与过渡元素的能级相似。能吸收与放射可见光的分子,一般都含有许多双键(见:有机化学)。这些光敏的带色分子形成了一群很重要的化合物。植物叶子中的叶绿素,就会吸收光能,而将其转化为食物能。人的视觉则涉及类似的四种光敏分子,每种对不同的波长段敏感。

染料是另一群常含多个双键的化合物。一给定染料的精密结构确定了电子可利用的能级,也就是该染料所能吸收的波长。例如,当一物质的分子能与一纺织物的纤维化学连接时,此物质就能用作染料。

色觉

就心理学意义而言,无光时亦可有色存在,在一全暗的室中的人们,紧闭着眼也能“看见”颜色。他们这样做时,眼前有称为光幻视的带色的光点闪过。直接刺激脑和用加压或通电来刺激眼睛,也会产生光幻视。

视觉的持续性是在无物理刺激下,人有色感的另一个例子。人们在看电影时,他们真正看到的是一连串更换很快的静投射像。在图像之间的短暂时间,人的感觉中仍留有前一图片的像。这像与接下来的图像中的像相融合,而给出一连续动作的印象。眼对像的保留则称为正余像。同样,若人们对一有色碎片看了 30 秒钟,然后再去看一张白或灰纸。他们也许会看到一为原来的互补色的碎片。这种现象就称为负余像。

当从一物体反射来的光进入人眼中,它先后经过角膜、瞳孔和晶状体,到达视网膜。视网膜上有两种探光的细胞。这两种细胞分称为视杆细胞和视锥细胞。其中:视锥为色感受器,而视杆则能使人在夜间视物。

在 19 世纪初期,T. 杨氏提出了人视觉的理论,而后为 H. 亥姆霍兹所细加工。现在的杨-亥姆霍兹理论的说法是:人眼中有三种对颜色的接受器或视锥。一种对绿光最敏感,一种是对红光最敏感,而第三种则是对蓝光最敏感。根据这一理论,其他颜色的光则以不同程度对一种以上的视锥起刺激作用,这取决于该色中的各混合光之波长。

人眼中有四种不同的光敏化合物。视紫质位于视杆处,似只限于看黑白视觉。其他三种则均称为视青紫质,是涉及看颜色的。不过,单凭眼化学尚不足以说明人鉴别颜色的能力。部分还要经人脑起作用,脑中可能分别有不同的色察觉中心。

19 世纪 70 年代中,E. 赫林提出有四种原色——蓝、绿、黄和红。他将这些色排布在一圆上,其中红对着绿,而蓝对着黄。圆中尚可充以介乎其间的各种颜色。赫林认为:正对着的两颜色互成对立色。他认为白与黑便是一对特殊的对立色。赫林的理论与通常的观念——心理学上,人感到红与黄为暖色,而蓝与绿为冷色——是一致的。杨和亥姆霍兹假设的三种接受器是色觉的第一步。再由视锥产生的电信号在视网膜上相互结合,而产生了像赫林所提出的对立信号,即黑-白、红-绿和黄-蓝三种信号。这样,色觉从一个分前后两步的过程开始。再沿视神经传送到脑,再经编码而成这些对立色的信号。

20 世纪 50 年代中,E. H. 兰德进行了一系列实验后,对以上的两个理论都提出了疑问。兰德证实:只用两种颜色混合,便能产生一广大范围的颜色。他把同一景象先后拍了两次照——一次用长波长的光,一次用中波长的光。他把这两种照片分别叫做长记录(对长波长)和短记录照片。当兰德将这两种照片投射到同一屏幕上时——用红光投射长记录片和用白光投射短记录片——则屏幕上的像似乎是全色的。兰德因此提出:看到的一些颜色并无它的波长,而是通过与其周围颜色相比较的有关过程,才有此感觉。他因此推测:一个景象中颜色的总组合,在色觉中起着重要的作用。他的这些实验可说是对色觉两阶段理论的一个证明。

反常色觉

有些人患有色觉异常症,或称色盲。当令其捡取一些同色的碎片对——称为色的匹配过程——这种人所捡取的成对碎片中,从大多数观者看来并非同色。色盲一般是带有遗传性的,但也会由于身体化学平衡失常或眼伤而引起。

科学家把色盲分为三个主要类型。其中最严重也是最少见的是全色盲。全色盲者完全不能分辨颜色。在他看来,所有的色只是不同亮度的灰色而已。

更常见的色盲是半色盲,或二色性色盲。一些半色盲者常分不清红、绿、灰三色,但能区别蓝色与黄色。另一些半色盲者则不能看见可见光谱红端最长波长的光。不能分清蓝、黄、灰和不能看到光谱紫端的很短波长光的半色盲则是罕见的。

正常的色觉——大多数人具有的视觉——是三色性的。而最常见的色盲类型则是偏离了正常的色觉,叫做异常三色性色觉症。这些患者看到色的全范围与普通人相同,但他们感到的色匹配却与普通人的不一样。例如,在红绿两光混合成黄光的试验中,弱绿觉的人要加上更多的绿光,才能使他得到与正常色觉者同样的黄色感。弱绿与弱红色觉是最为常见的异常三色性色觉症;而弱蓝色觉者则极为罕见。

动物的色觉

由于动物自己不能对它们感到的颜色问题作出回答,科学家们得用实验去发现受过训练的动物会不会按颜色来选择。要是动物吃的食物总是放在红方格而不是绿方格中,而动物饿时总到红方格处去找食,科学家就由此断定:该动物能区分红色和绿色。因为这样来训练猿和猴,且它们的视网膜细胞有色感觉化合物,研究者们由此相信:灵长类有色觉。

灵长类外的哺乳动物,总的说来其辨色力多不行,但不

能肯定的是：它们到底是无法辨别，还是对它们而言是无关紧要的。例如，通常认为猫属色盲，但有些人曾声称，如事先将颜色与位置紧密联系，则可使它们经训练而识别某些颜色，其中有蓝和绿色。无论如何，猫的感色力并不强。

和人类有些相似，鸟类有强的辨色力。它们的许多行为——例如，确认其配偶或其猎物——都是基于对色的认识。鱼类也能辨别颜色。蜜蜂的色觉与人类相似，但它们还能辨别人眼无法觉察的短的紫外波长光，而不能觉察人类能看见的光谱红端的光。

复制颜色的技术

当远古人类在穴壁上作画时，他们用带色的泥或黏土作颜料，他们给作品上色。红、黑和黄色的颜料是最容易找到的。后来，人们就逐渐学会把这三种颜料混合，而产生了新的颜色。人们更发现了能产生其他颜色如橙、棕和深蓝色的染料。

当人类学会制陶器、雕刻和纺织后，他们也就学会对这些新产品上色。陶器和雕刻品的上色，是将染料涂盖并粘附在它们的表面上。原来使用的材料与方法和在一平表面上作画的方法密切相关。将不同的天然染料相混合，得到新颜色。

不过从一开始，制造染纺织物的染料就涉及化学过程。最早是由熬煎植物的某些部分来分离出有色的化学物，然后把布浸泡在染液中。

现在，我们用各种各样的化学反应来制造新染料。由这些反应而成的各种颜色，是由一系列化学结构的变化的结果，而不能用前面所说的调色律来解释。

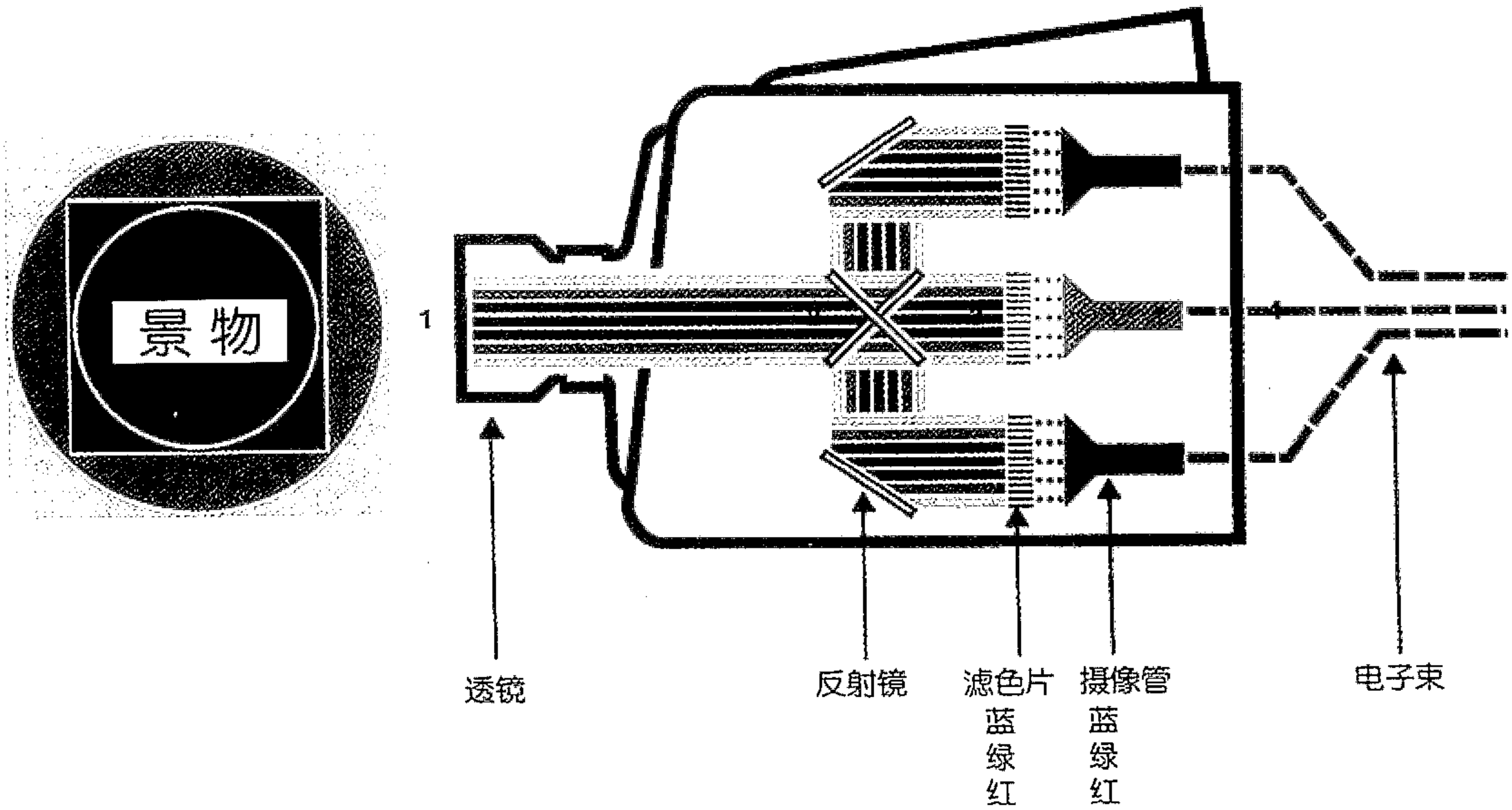
现代印刷全色图的技术变得非常复杂。它们的第一阶段基于分色法；而其他阶段则基于减式调色法，也还包括加式调色法在内。彩色印刷中的三原色——黄、深蓝和洋红——能按不同的比例混合，几乎复制出任何颜色。

彩色印刷的第一步是用一束光对原照片或一件艺术品扫描，此光束当通过原作或从其反射出来时，分裂成三束光。每束光射到一覆有滤色片的光电池上，滤色片则与众可加原色中之一相匹配。这样，从原件中的每一块表面都分离出三个色成分。用四台电子计算机，依靠从光电池馈入计算机的电流，来校正其颜色。每一计算机对应于其中之一原色，而留一台计算机用于黑白成分，这成分是由其他的三个信号所算出的。曝照光调配从计算机出来的电流，而后再将每张经过校正的分色在底片或纸上曝光。

在网点制版印刷中是用小圆点的阵列显示的。凡施以青蓝和洋红色油墨时，有些点将为青蓝而另些则为洋红色。将两者套印在一起，则两色光均被反射，混合相加而成蓝色。而黄和洋红色反射光等强之处，则两者混合相加而成红光。介乎其间的浓淡图版则可这样制成：改变点的大小与数目并将一个色点相继印在另一个色点的顶上。

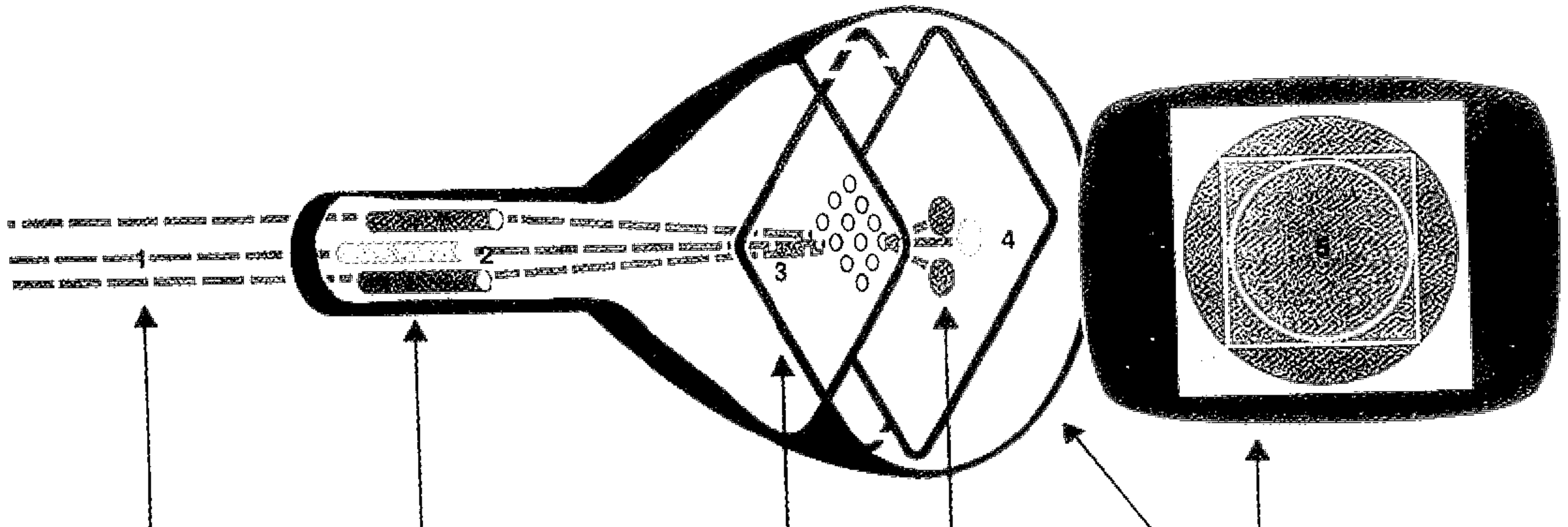
彩色电视广播的工作原理也是首先将颜色分解成为可相加的原色，然后用带色的点结合起来作加式调色。在有些摄像管中，用反射镜把光分为三支。第一支通过一蓝色滤色片，第二支通过一绿色滤色片，而第三支则通过一红色滤色片。然后用三个摄像管，以电磁波信号的形式，记录下色信号，而发射给电视用户。用户的摄像机，可以用一单个的称为电荷耦合装置（CCD）的检测集成电路。红、绿和蓝滤色片直接固定于集成电路。

电视摄像机



彩色电视摄像机工作原理如下：光从拍摄对象经透镜(1)而进入摄像机。反射镜把光束分成三支光(2)。这三支相加的原色光(3)透过滤色片。摄像管将这些色信息编码成电信号(4)，这些信号以电磁辐射形式播放。

显像管



三个电子色信号(1)分别从电子枪(2)进入电视接收器。电子枪将电子射经遮蔽屏(3),后者将电子聚集在发红、绿或蓝光的磷光点(4)上。从这些磷光点发出的光形成了在电视屏(5)上的像。

彩色显像管中有三枝电子枪,每枝对应于一种颜色。电视屏幕的背面上涂有点状的磷光剂。当一粒磷光体受到了一电子的冲击时,便发出一些波长的光。多数彩电装置中有三种磷光体,分别发出蓝、绿和红光。一个叫做遮蔽屏的,位于磷光体层之后。接收蓝光信号的电子枪,将这些电子射向磷光体。遮蔽屏遮住发红光和绿光的磷光体,而只活化了发蓝光的磷光体。相似地,接收红光信号的电子枪,屏蔽掉红色外的光;而接收绿光的,则将绿光外的光都遮蔽掉。这些色的混合相加形成了范围广的颜色。

彩色摄影术则涉及化学和加式与减式调色的原理。一典型的彩色底片上有三层化学物,每种对一种相加的原色感光。顶层所含之化学物,仅对蓝光起反应。紧接顶层的下面,有一黄色滤色层,把从顶层透过来的蓝光全吸收掉。绿、红光则透过顶层和黄滤色层而抵达中层,这层对绿色与蓝色感光。由于黄滤光层已挡掉所有蓝光,所以影响中层的,便只有绿光了。而红色则穿过这层而到达底层,这层对红、蓝和部分的绿色都感光。由于蓝色光和绿色光已被滤掉,所以只剩了红光对底层起化学变化。这样,感光片就对景象作了三种记录,每种含有一种相加的原色所供给的信息。

底片上的这种三原色的记录,可合成一透明正片,它由适量的互减原色——洋红、青蓝和黄色——所染成。用白光透射正片,将成像投射到一屏幕上。若此透明正片只染了青蓝和洋红色,其中青蓝吸收了红光,洋红吸收了绿光,则透过该片而投射到屏上的便是蓝色光。若透明正片染成黄和稍带点洋红的颜色,则蓝光不能通过它,绿光只部分而不是全部被吸收,使剩下来的波长产生橙色的感觉。

有一种叫全息术的照相技术,它是用激光来产生物体的三维像。一种称为全息图的记录,则是由从物体反射出来的激光与直接来自激光源的激光间,相互干涉而成。当用波长相同的激光照全息图时,则光为全息图所偏折而重建起该物体的透视像。若绕着全息图边缘从不同角度来看,则可看到变化的透视像,恰如真有原物在那里一样。已开发可用三种不同的颜色的激光技术,得出全息像,这样就可得到全色的像了。不过有个未解决的问题就是:在真像边上出现的鬼像。最后,全息术可用来产生立体电视。(参见:全息术)

对颜色的反应

总的说来,人们的趋向是:视蓝和绿色为冷淡、平静之色,而认为黄特别是红为暖和之色。个人对颜色的爱好可能就是基于这种对不同色有不同反应的总趋势。试验表明:儿童们对颜色的爱好,随着他们的长大,会从暖色转向冷色。另外试验又表明:广受爱好的颜色以蓝色为冠军,其次为红、绿、紫、橙和黄等色。不过,由于这些颜色本身之变化,而产生了不同的顺序。草绿色往往排在较纯的绿色之后。已证明有不少的人喜爱纯色或饱和色。

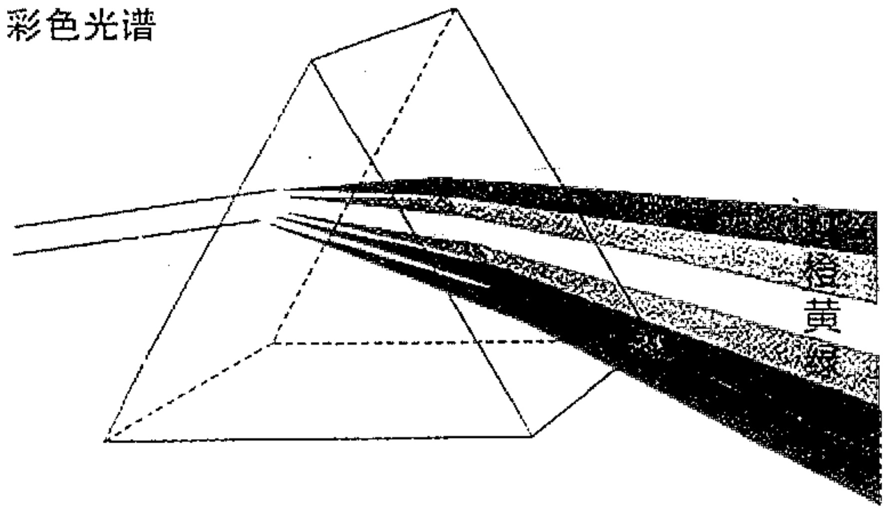
审订:Dr. Roy S. Berns

光谱和分光镜 SPECTRUM AND SPECTROSCOPE

自远古以来,天空中的虹霓

就引起了观察者们的喜爱与迷惑。于是人们便臆造出种种神话与传说，去解释雨后天上出现的美丽的彩虹。直到1666年才出现这虹霓之谜的科学答案。在那一年，牛顿爵士对如何消除望远镜头产生的色环问题，开始着手研究。（现在科学家们称这种色环为色差。）他断定这种麻烦出于光的本性。因此，他开始研究光是如何成色的。

彩色光谱



三棱镜使一束日光折射（转曲），而使原来的白色色散（分离）成一多色彩的太阳光谱。

他让一小束日光进入暗室，并穿过一三棱镜，这束光便产生了虹霓般的彩色带，从红经黄、绿和蓝而到紫色为止。然后，他把这些带色光分别通过另外的棱镜发现它们不再变色。当他把整个色光带经过一同样但正好倒过来的三棱镜后，则色带就又变回到白的日光。

由此，牛顿推理出：白光实际上是一些带颜色光的混成体，而每种色光经棱镜时其弯折程度有所不同。不同的弯折度使每种色光分离呈现出来（见：**颜色**）。形成的彩色光带称为光谱。实际上，虹就是日光穿经小雨点而形成的一种光谱。

将光分解为其组分的各色光称为色散。色散是由光在棱镜中产生的折射而得到的。每种颜色的光都有其本身的波长（见：**光**）。各色光的波长确定了该色光的曲折程度。红色光曲折最小，而紫光则最大。若光束以某一定的角度入射至棱镜上，同种色光的折射程度总是一样的。因此，每种色光正好落在屏幕上的同一处，而足以确定其位置。

科学家在分光镜中，正是利用了棱镜的色散作用。从分光镜展示出不同种类光源的光谱型是不相同的。太阳、热金属丝灯和熔化了的金属各自发出的光，都产生各种色的无间隔排列的光谱。这种谱型称为连续光谱。热炽气体只发某些颜色的光，而形成只有若干细线的谱。它们的光谱便称为明线光谱。连续光谱和明线光谱都是由发射光源产生的发射光谱。

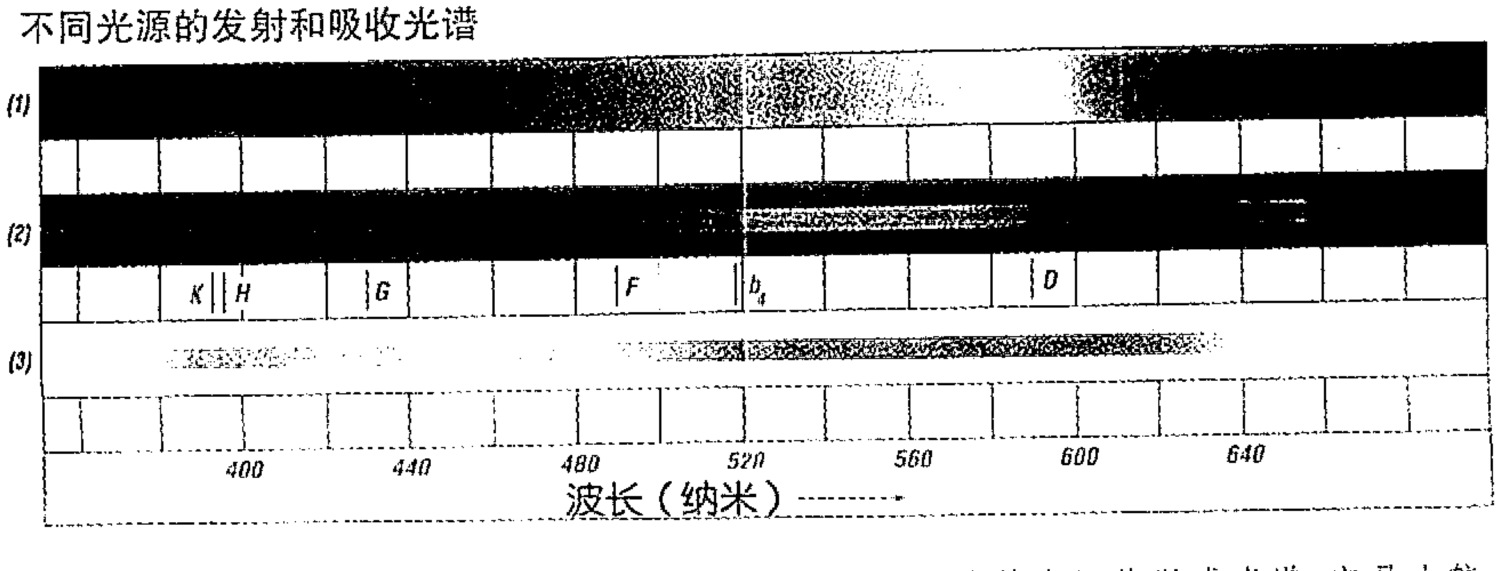
在19世纪初期，J. 夫琅禾费观察到连续光谱被许多暗线所横断。他列出的暗线有700多条，但无法做出解释。不过，由于他这一发现，而称它们为夫琅禾费谱线。

大约50年后，夫琅禾费谱线的意义，才由C. 基尔霍夫和R. 本生发现。他们两人用分光镜对一些由本生灯无色火焰烧蒸发的物质的蒸气进行了研究。每种蒸气都显出其本身的特征明线光谱。而当发射光通过较冷的这种物质的蒸气后，则原明线正好为暗线所代替。

这些取代了明线的暗线表明：后一蒸气吸收了前一蒸气的特征光线。后来的一些实验证明：较冷蒸气所吸收的那些光，正是它在较高温度时正常发射的光。在1859年，基尔霍夫发表了由他发现的辐射与吸收定律。因此，这样形成的光谱便称为暗线光谱或吸收光谱。

基尔霍夫和本生还注意到：不同化学元素给出各自的特征的谱线排列。例如，炽热的钠总是在靠近光谱中段，给出一定的黄线，而没有给出这种线的其他元素。因此，当出现这种线时，炽热物中肯定有钠存在，若是明线，则是炽热金属钠直接发出的光。而若是暗线，则所发之光必然穿过了含有气体钠的吸收蒸气。只要有微量的某元素，便会有其谱线出现。这就为鉴别未知元素，提供了可能性。

不同光源的发射和吸收光谱



一普通白炽电灯的连续发射光谱如(1)所示。(2)所描绘的是太阳的混成光谱，它是由较冷的太阳外层的特征吸收光谱（暗线），加在太阳更热的内层的连续发射光谱上所造成的。用字母来标明夫琅禾费（暗）线，它们是太阳上气体引起的特征谱线：钠(D)线，铁与镁(b_4)线，氢(F)线，铁与钙（G）线和钙(H，K）线。(3)则为(2)之负片。片上曝光多处则更黑；因此，前面的吸收暗线，此处便显为亮线。

这些在太阳光谱中发现的夫琅禾费暗线，还能用来确定太阳中的元素成分，产生暗线所需之吸收，可认为是在包围太阳的较外层的炽热气体中发生的。为了"分析"太阳，可将其光谱中的暗线和在实验室中得到的各种元素的明线光谱进行比较。只要它们一致，科学家就可断定太阳上有该元素存在。同样也可用此法来"分析"其他恒星的化学成分。

科学家们已取得了各种元素的光谱，而对其每条谱线都进行过测量而列成图表。每当他们要想知道某一恒星的组成成分时，他们就先拍摄下它的光谱，然后拿众多的元素光谱图表来查对。这种方法的显著成功，就是氦的发现。1868 年，法国天文学家 P. J. C. 央桑和英国天文学家 N. 洛克耶爵士，分别独立地发现了太阳光谱中有些明线和已知元素谱线表中的谱线，全都不一样。洛克耶对此的解释是：太阳中有一种我们尚不知的元素存在。他就根据希腊语 helios（太阳）而把它叫做氦（Helium）。后来在 1895 年，W. 拉姆齐爵士在加热挪威的钇铀矿石时，发现它放出一种微量的轻气体，经他做光谱鉴定后，知其为氦。（见：氦）

光波的测量

光波波长的测量单位，一度常用毫微米，用符号 $\mu\mu$ 表示，它等于百万分之一毫米；也有用单位埃（Å 或 A. U.）来表示的，其大小为千万分之一毫米。波长至今仍可用不同的单位来量，但在分光工作中，现在最常用的是纳米(nm)，其长和其所取代的毫微米一样。这是科学界所采用的特殊单位之一，其目的是避免用过长的小数，如用厘米来表示像光波波长那样小的量。例如，紫光波长为 410 纳米。下表给出可见光中每种色光的中央处之波长：

	nm
紫	410
蓝	470
绿	520
黄	570
橙	620
红	710

由于光的颜色是由其波长决定的，这就意味波长愈短，在一定的棱镜途中的弯折也就愈大。因此，可从光波在棱镜中的折射程度，判断波所引起的振动的频率。这可从谱线在屏幕或照相板上的位置加以确定。

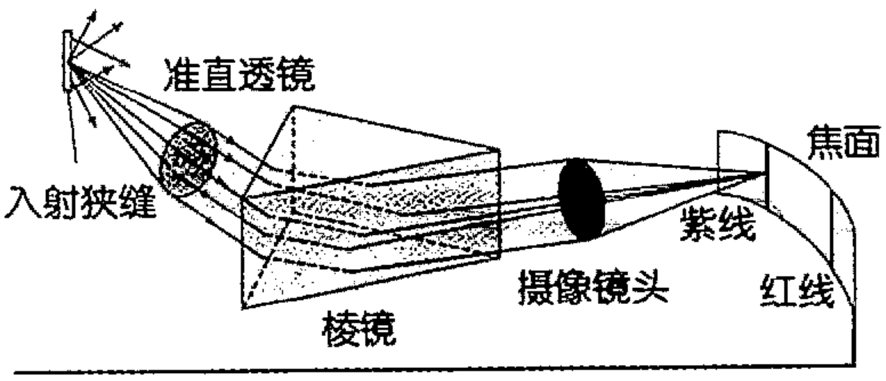
棱镜分光镜和衍射光栅分光镜

真正用于各技术领域的现代分光镜，其功能与设计的花样很多，常因对专门的物质分析而非常专门化。但是，现在作为基础教具而在课堂上用的，一般仍是较简单的棱镜式分光镜。这种仪器包括有：平行光管（入射光筒），玻璃棱镜和望远镜。平行光管之一端有一进光的狭缝，另一端则有一聚光透镜。透镜将光导至棱镜上，而后者则把光色散成其各组分的色光。有时，则用一连串的棱镜来增高色散。

各色光离开棱镜后，它们就为望远镜的物镜所聚焦。每种波长光显示出和其他色光所生的互相分离的平行光管的狭缝像。把望远镜换以照相机来拍摄谱线，这种装置便称为摄谱仪。

另一种更强有力的分光镜，就是用 1821 年夫琅禾费发明的衍射光栅来做分光元件。他用细金属绕两根细螺丝缠绕而成。他以这种光栅，出人意料地测得光波波长的精确值。近代的精密光栅则是在一片镜用的金属或玻璃上刻划等距而平行的细线。其中最为精密的光栅是由 H. A. 罗兰制成的。他发明了全自动的刻线器，能在每厘米长蚀刻出 5 600 到 8 000 条线。罗兰在凹面上做成的这种光栅，得到一个 6 米多长的太阳光谱带。光栅是光干涉现象的一种特殊应用。（见：光）

棱镜摄谱仪的原理图



光源前之入射狭缝使光滤过一准直透镜，后者将来光变为平行光线。这些光线为棱镜折射；然后为一摄像镜头聚焦。其中紫光所聚焦的像为焦面上的一条线。来自狭缝的红光也会成像，但因折射性能之不同，其像在焦面上的另一端。

用衍射光栅分光镜测光波长的精确度可以达到 10^{-12} 厘米。它是用于可见光和紫外光的分光仪器。在分析中，常用照相感光板为探测装置。

运动、温度和磁性对光谱的影响

分光镜也能告诉天文学家，由于多普勒效应产生的现象（见：声音），某一恒星是朝着或背离地球运动的。任何人都会注意到：火车头进站时汽笛声变尖，而匆匆过站后，笛调则愈来愈低。原因是：火车向我们走时，汽笛愈来愈近地对我们不断发出声波。相继到达我们处的声波要稍快一些，所以音调就较高。而当火车退行时，到达我们处的声波被拉长，因而降低了汽笛的音调。

同样，当一恒星朝着地球运动，每个光波都缩短了一点。因此，其光谱线向紫端移近。而当恒星背离地球运动时，其波长或多或少要长一些，而使其光谱线朝红端移了一点。谱线移动量的大小反映了恒星速率之大小；但因光在真空中的速率高达 299 743 千米/秒，所以恒星要有很高的速率才有明显的效应。

温度和压强也会对光谱有些影响。可以探测这些效应，并可用来确定一些恒星的大致温度及远方天体上气体的压强。

由分光镜得出的另一奇迹性发现，就是磁与光的联系。

在1896年，荷兰物理学家P.塞曼发现：当光线通过强磁铁时，光谱中的谱线由原来的1条分裂为2条或更多条。磁对光的这种影响，就因其发现者而称为塞曼效应，并已证实它有助于太阳磁性的探测与量度。

电磁波谱

虹霓的彩色光，只构成了电磁辐射的很长能谱的一小部分。其他部分则包括有：无线电波、微波、红外(热)线、紫外线、X射线和γ射线。尽管它们产生的效应有所不同，但这些形式的能量，都在空间像电磁扰动那样地传播。有时把它们称为辐射能。(见：**辐射**)

对各种不同光谱中的谱线的研究，有助于近代物质理论的建立(见：**核能**；**能量**；**物质**)。紧随本生与基尔霍夫发展了用光谱线作化学分析之后，科学家就认为这些不同的谱线，是由受热原子所做的各种快慢的振动给出的。他们相信振动愈快就产生波长愈短的波，而使谱线趋于光谱的紫端。

1885年，J.J.巴耳末由实验发现：氢气团辉光的若干振动频率间有一简单的数学关系。这点暗示氢原子中，有某种以不同速率变动的机构能使其发出不同波长的光。不过，巴耳末猜不出到底是什么“机构”。后来，R.R.里德伯进一步提供了这课题的信息，发展了冠以他本人名字的公式，来描述更多观察到的关系；但他依然不知原子中究竟是何物在做振动。最后在1913年，才由著名丹麦物理学家N.玻尔给出了答案。(见：**玻尔**；参见：**原子核物理学**)

主要由研究放射性所得的知识而建立起来的玻尔理论，主张氢原子是由中心核(如同太阳)和环绕中心核运动的电子(如同行星)组成的。玻尔进一步深信当原子吸收能量后——例如加热后——其轨道就扩大了一定数量，每一次扩大都代表吸收了一个量子或一包能量。当原子以光形式放出能量时，电子就会落到(较)内层的轨道上，而光的频率则由其穿越过多少层轨道而定。若电子落下一层轨道，由此造成的“能溅落”而向外发出一定频率的光。若电子落下两层轨道，则发出另外的一定频率的光。由分光镜得到的氢谱线，则是所有的氢原子中，发生的这种作用的总集合。更进一步，利用普朗克常数(量子的基本度量)和里德伯类型公式中的电学因子，玻尔得以将其全部解释归结为电力。因此，氢光谱可用其原子中的各电力的结果来解释，而分光镜就成了有用的研究物质结构的仪器。

另一个重要的发现就是：X射线也会形成像可见光那样的光谱。这可由将一束X光射到一晶体上而得到。X射线中诸短波的衍射图样揭示了晶体中的原子排列。(见：**晶体**)

在1913到1914年中，英国物理学家H.G.J.莫塞莱宣布他发现了由于受电子的碰撞，而使各种金属的表面发射X射线的深刻关系。他发现：每种金属都存在一些对应于某些频率的X光谱线系，他从较轻金属往重金属延伸时，愈靠后的元素就显示出频率愈高的频谱。莫塞莱就由此推得：这并非由原子量的增加所致，因为有些原子量不同的物质显出同样的光谱。而这必然是由这些金属原子中的轨道电子数(对应于它的原子序数)的有规律的增加所致。莫塞莱的工作对近代的元素周期性分类，提供了基础。

现代应用

分光镜差不多用于每个技术领域，特别是对任何光源的成分和过程的认定。在有些工业中，众多相类似而有吸光性的样品，必须做同时的快速分析。一位医生有时要在短时间内，对几百个血浆样品做分析。好在，现在已有全自动的分析分光镜可供利用。由于对辐射吸收度不同的新样品分析技术，为科学家提供了若干确定物性的新方法。红外光谱学、紫外光谱学和核磁共振光谱学，便是其中最常用的。(参见：**辐射**)

在20世纪中，科学家们发现所有原子粒子的行为，就好像它们具有如光那样的波长一样。分光镜被用来研究这些粒子。对基本粒子本身的研究分为重子光谱学和介子光谱学，而基本粒子分光计就是用于这些研究的。在另一领域，中子光谱学的成就之一就是：标绘出像DNA(脱氧核糖核酸)和RNA(核糖核酸)那样复杂的大分子结构，两者都是遗传基质。再者，分光镜还可对可控热核聚变进行温度测量。(参见：**原子粒子**；**核能**)

透镜 LENS

人类单凭肉眼观物，已有数千年的历史。现在，则有成千上万的人带上由透镜制成的眼镜和隐形眼镜以弥补视力的不足。望远镜中的透镜帮助天文学家研究恒星与行星；不过，现在最先进的望远镜都用曲面反射镜而不用玻璃透镜来聚光。显微镜使科学家们能看见远非肉眼能直接看见的过小的物体。照相镜头把光聚集在一小面积上。而图片投射器则用透镜把光散布在一较大的面积上。

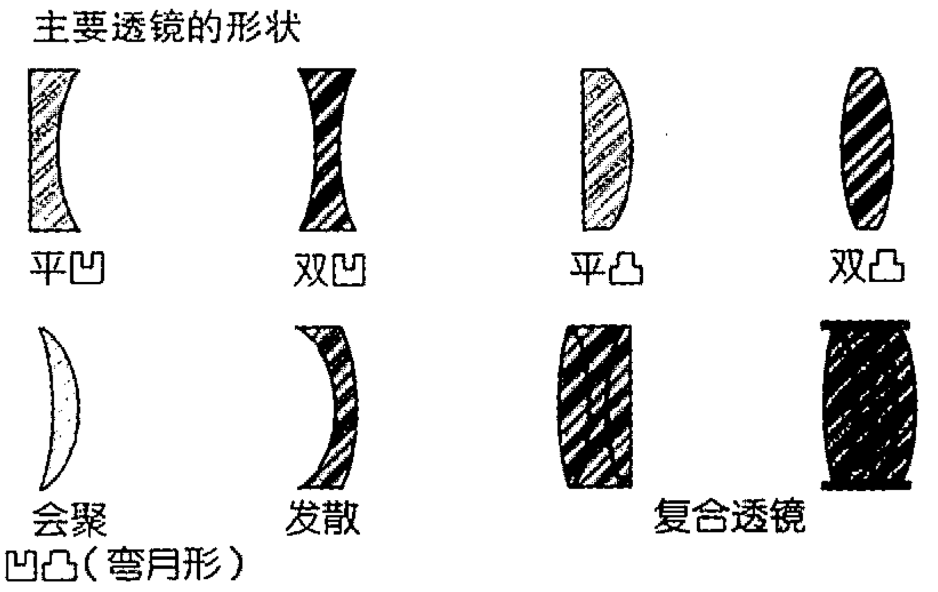
透镜之所以能起这些作用，是由其形状所致。透镜由其形状而生的效果，可用窗玻璃与眼镜的对比来说明。两者都是用玻璃做的。当人从窗玻璃向外看时，所看到的每一件都和原物一样。而通过放大镜看近物，则每物较原物都显得大与近些。窗玻璃板是平的，而眼镜的玻璃面则是稍微弯曲的。正是有这弯曲度，才使一块玻璃成为透镜。

把表面弯曲的玻璃叫透镜(lens)，是因为最早的一种透镜是小扁豆状的。而lens的原拉丁文词lentil就是小扁豆的意思。据说，古罗马皇帝尼罗曾用过一个由绿宝石制的扁豆形透镜。(对透镜的物理性质及其成像，见：**光学**)

透镜像差的校正

简单透镜在功能上的缺陷称为像差。球差是由透镜的边缘引起的，那里的光线以较尖锐的角度和透镜相遇，其折射就大，光线的会聚点就比通过透镜中部的光线的会聚点更靠近透镜。这种球差可用修改原透镜的正规球面曲率来校正，或者将一凹透镜与一凸透镜合起来成为“消球差复合透镜”来校正。

另一种透镜缺陷是色差。在可见光中，一些波长最长的光显红色，波长稍短的显黄色，这样，波长一直短到显蓝色与紫色为止。白光则包括所有这些波长的光。当白光射到一简单的玻璃透镜上时，玻璃对每种波长（或颜色）的光的折射程度是不一样的。波长短的紫光比波长长的红光聚于更靠近透镜之处。其他颜色的光则聚于这两个极限点之间。结果就形成了颜色模糊的像。（参见：颜色；光）



透镜依其两个表面的形状分类。透镜的性质随表面的类型和曲率大小而变。

多年以来，色差一直妨碍着光学仪器的发展。到了1733年，英国的法学家与数学家 C. M. 霍尔才发现火石玻璃的光色散光谱，比冕牌玻璃的宽些。他把用冕牌玻璃切磨成的凸透镜和用火石玻璃做的凹透镜合在一起。这样一来，就消掉了原在凸透镜像周围的彩色边圈。这是首次制成的消色差透镜。人们常误以为这是英国光学技师 J. 多兰德的发现，因为是他首先制出了新型的可用的这种透镜。

透镜的制造

透镜的制造是一种细致而高度专门化的工艺。所用的玻璃必须是最优质的，而工序则必须是完善的。巨型望远镜的透镜是特制的，而眼镜用的透镜通常是批量生产的。首先，出炉的光学玻璃是大块的、有裂纹的粗料，先要对它们做缺陷检测。然后，玻璃工把其中合格的玻璃块制成透镜的雏形。他们将玻璃加热使之软化到一定程度而压制成盘状。

这些雏形透镜要经过多次的研磨。先进行粗磨。把粗透镜用内面涂有金刚砂的铁转盘来磨，使透镜初步成形。然后，磨透镜工人将其研磨成形。每进一步，透镜磨工就换一种磨具，使透镜一点一点地接近最后的形状。最后，制磨工用形状正好而上涂有金刚砂粉的模具，作最后一道切磨。

用更细的金刚砂粉将透镜面磨光。再用细红铁粉（氧化亚铁）作最后的抛光。至此，就可用切割机把透镜切割或修边，成为有正确直径的透镜了。再经最后的一道瑕疵检测后，便制成可用的透镜了。

透镜性能的测量

为对透镜作确切的研究，光学科学要用到不少的定义与规则。有一个定义就可用来对折射进行测量与计算。光在水中比空气中走得慢，而在玻璃中则走得更慢。光在任一介质中的速率与光在空气（严格地说，应是真空）中的速率之比值，为该物质的绝对折射率。由于水中的光速仅为空气中的光速的$\frac{3}{4}$，故水的折射率为$\frac{4}{3}$或 1.333。而对窗玻璃，折射率约为$\frac{3}{2}$或 1.5。

任何透明物的折射率可比较光从空气进入该物时的入射角和折射角的大小而求得，这两个角度的正弦比即其折射率（正弦的定义，见：三角学）。例如，若光束以 30 度之入射角穿过一介质而在后者中之折射角为 22 度，则 30 度角和 22 度角的正弦分别为 0.500 和 0.375。因此，将 0.500 除以 0.375 则得其折射率为 1.333。同样，光束的折射角大小可由入射角与该介质的折射率的大小求出。

透镜的形状可由它的每个面的曲率中心的所在位置来规定。透镜的曲率中心与其折射率确定了透镜的主焦点的位置和它的焦距。透镜的中心则称为光心。过光心的光也有折射，不过它的入射光与出射光是互相平行的。

电子透镜和引力透镜

电子显微镜用一种专门的非光学的透镜，使电子束聚焦。常用的有静电式和电磁式两种电子透镜。它们产生的静电场和电磁场都会会聚与移动电子束。磁电子显微镜的放大率是通过电透镜和电磁透镜线圈的电流强度确定的。调节通过物镜线圈中的电流，使电子聚焦成像。

光线通过一超巨质量天体附近时会发生弯曲，其作用犹如一透镜。若从地球上看一巨质量星系的背后有一光源，则从它发出的偏折光线可经过不止一条的途径到达地球。这巨质量星系的作用就如一巨引力透镜，能将不同行径的光线予以聚焦。这样就使原来该星系背后的单个光源，看起来是两个或多个光源。这类表观上多天体的例子已经发现了。天体物理学家便可利用这种现象来确定许多天体的质量和密度，并由此来研究它们的组成成分。

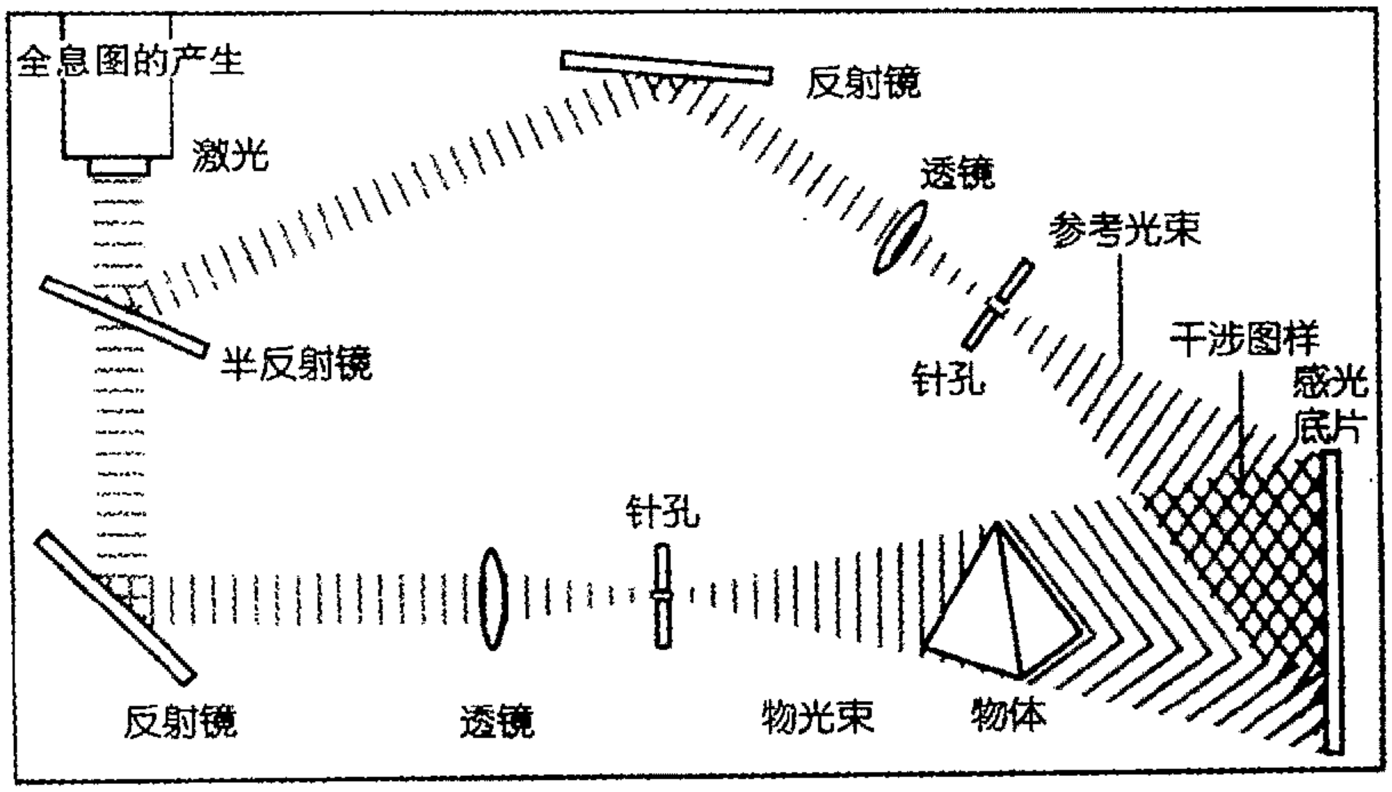
全息术 HOLOGRAPHY

亦称全息学。照相术曾被认为是最佳的记录视觉信息的方法，但这种简单的二维照相已被 20 世纪 60 年代兴起的全息照相术所超过。全息技术是把三维物体记录在一照相底片上，重放时使物体成一三维的像。全息图（hologram）一词来自希腊文“holos”和“gram”，它们分别是“整体”和“书写”的意思。全息图中的每个部分都贮存了和整个物体有关的编码信息。

普通的全息图，要用来自单一激光器的两支光产生。激光器发出一单频率（单色）的光，所形成的波都是同位相（相干）的。把来自激光器的光束用部分反射镜来劈分。用反射镜来重新调节这窄光束的方向，并用透镜-针孔装置来扩展光束。其中的一束光称为物光束，用来照亮物体表面，然后

经散射与反射而入底片。另一束称为参考光束，它直接照到底片上。这两束光在底片上相互作用而生成密集线状的干涉图样，称为复衍射光栅。这样的照相片就是全息图。

为了观看全息图，先要把底片显影，然后再用同样的激光源来照亮底片，而观看者则应从底片看穿过去。光源与其底片中像的相对位置和原来物光光源与原物的相对位置是一样的。底片中像的样子看上去是三维（立体）的。对一全息图的视觉，其效果同从窗子看窗外物体相似（全息照片）。有些全息图是在物体靠近底片时拍录下来的。这样就降低了重建像的相干性要求，而允许用普通的光来观物。还可用一复杂而分先后两步的过程来对任一全息图编码，而使它能用普通光线来看。



来自激光器的两束光波经相互作用而形成一真正的全息图——记录在底片上的一涡旋状干涉图样。拍摄步骤是用一半透光镜将一束激光劈为一物光束和一参考光束。两者再为反射镜所导向而将物光束送至物体上。当激光射穿全息图时，则可形成一三维的像。

不像普通的摄影术，它只记录下光的波长和强度，全息术摄录下来的是从物体反射的光的振幅与相位的关系。若要关注物体的微移动或变形，则相位的信息是至关紧要的。连续两次或多次对物体变形前后进行的全息摄录，可以看到其形状的变化。这种技术叫做全息干涉学，可用来观察物体某部分振动，或者各种负荷所引起的微小变形。全息术还可用来显示流体的流动和对结构成分中的裂缝进行无破坏性的测试。

全息术的用途广泛。例如，在全息显微术中，能记录物体的全部区域，以备以后作详细分析。全息术亦可用来发展光学元件，如析像器、滤光器和衍射光栅。对于范围从广告到飞机座舱的视野的显示，用全息术则可给出一真实物体的"深度"感。全息术还用在生产或对过程的控制中，监控其中的物理参量的微小变化。有时将全息记录数字化并贮存下来，以备以后为一与计算机相连的影像数字化系统所用。叠合两片或多片的全息图常可用来作为安全措施。有的全息图可嵌入信用卡中，就可在不同的方向上显示出不同的物体来。以此来防止伪造卡。

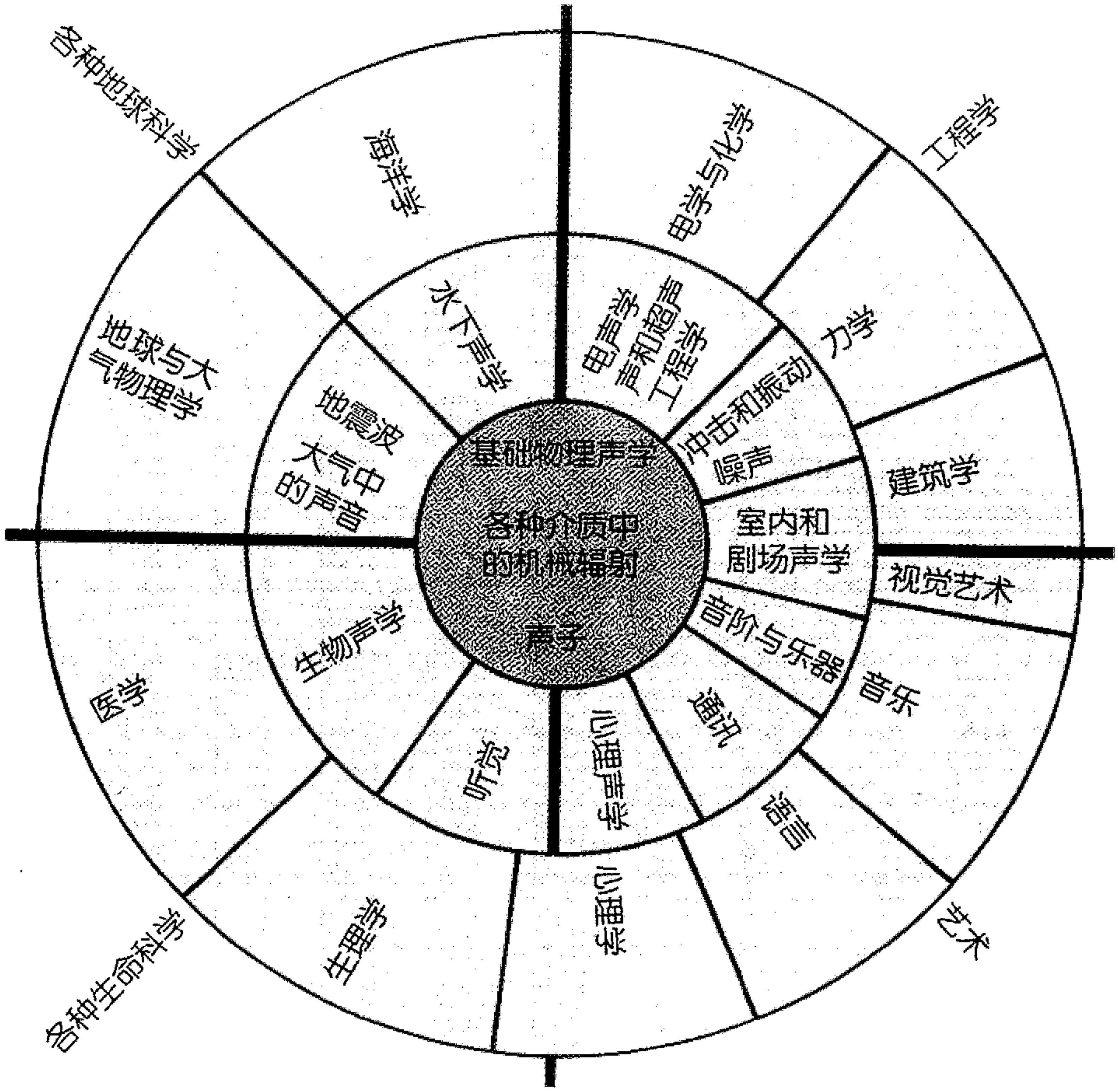
现代的工业全息术采用光导纤维光缆与光束来简化光学装置，能对遥远或正常视界达不到的表面，进行全息干涉测量。商业上已有专门的全息摄影镜头可供使用，它可在几秒钟内生像。

全息摄录的基本概念是 1948 年由匈牙利裔的英国物理学家 D. 伽柏，为改进电子显微镜的分辨率而首先提出的。但直到 20 世纪 60 年代激光发展起来后，才用强激光光源得到了一等质量的全息照片。后来，全息术便随着激光器及与其有关的技术的发展而发展。

荧光 FLUORESCENCE 见：辐射

声学 ACOUSTICS 看来似乎互不相干的专家却干着相近之事：研究声在水下传播的科学家，用超声来研究胎儿情况的医生，发展消除卡车噪声或为音乐厅提供良好听觉效果的技术工程师，以及鉴断患者听力的听觉病矫治专家，所有这些都涉及称为声学的交叉学科——研究声音发生、制控、传播、接收和效应的科学。林德赛声学转盘图则表明声学在生命科学、地球科学、工程学和艺术等方面均有应用。

林德赛声学转盘



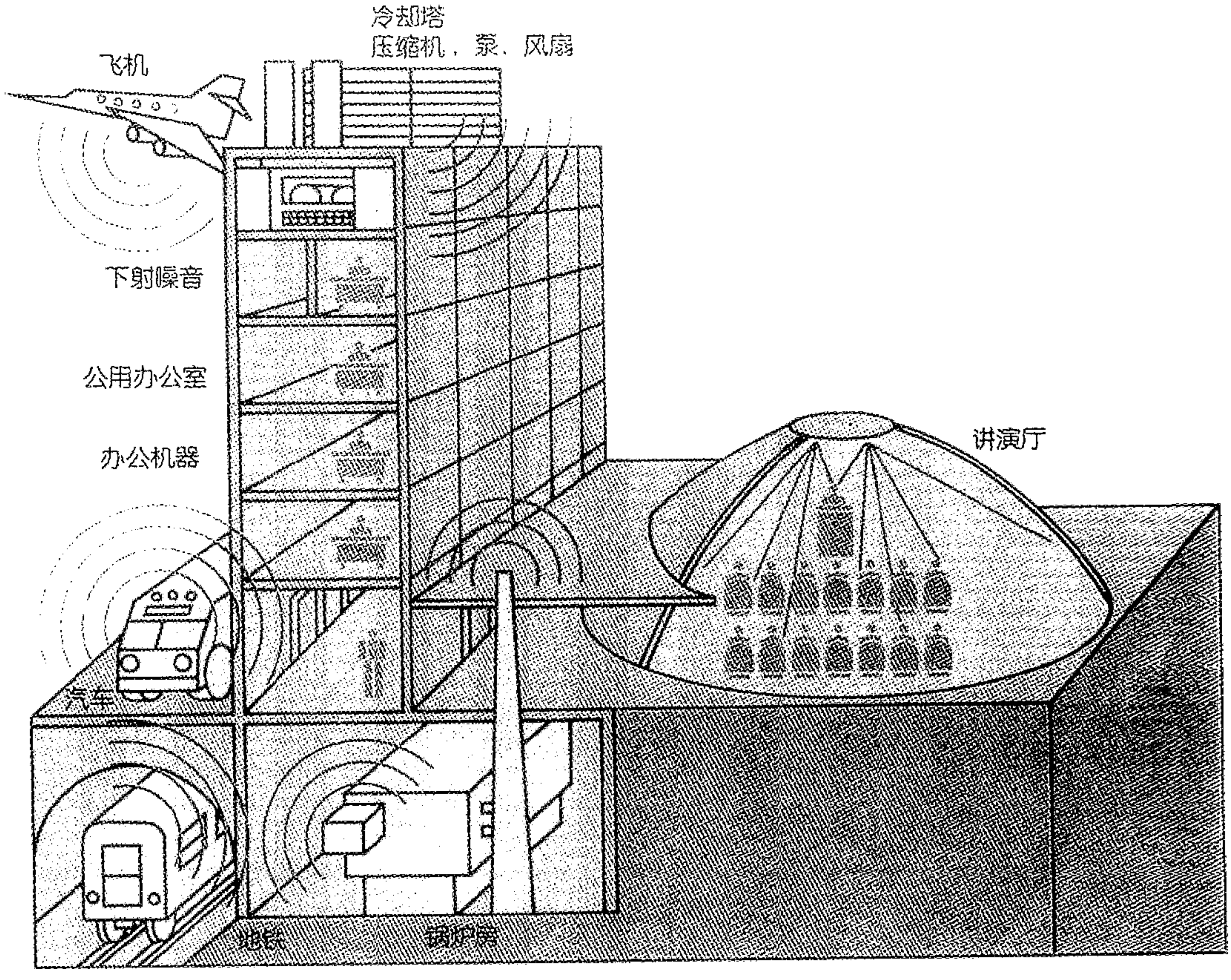
林德赛声学转盘图示出声学科学在各种各样领域中的应用。其中包括：各种生命科学、各种地球科学、工程学以及艺术的多个方面。

噪音控制模型

人们要求声学工程师们，研究如何减小像卡车轮胎、处理垃圾站、微波炉、办公室的复印机和牙科医生用的牙钻等所产生的噪声问题。为此工程师往往要利用多种噪声控制的模型。一噪声模型包括：噪声源，噪声传到接收器上的方式和接收器的检别。声学家对噪声控制问题中的选择是：降低声源所产生的噪声，限制噪声的通道（如设置部分声障），或护住接收器（如加听力防护装置）。

建筑声学

声学中常为人所误解的领域乃是建筑声学。一般都体会到良好音质在设计音乐厅、无线电与电视播放室以及诸如此类的建筑物中的重要性。但在设计课堂、购物中心、公用电话、公寓大楼或一般家庭住宅和办公环境中，声学考虑则常被忽视。在计划涉及人们使用的面积时，要考虑到多种因素，其中包括：使用面积、使用人的类型和许多其他因素。如果在最初设计与营造小区时就未从良好音质的原理上加以考虑，就往往使居民感到不适应。事后再去补救这种不良的声学设计，比一开头就做好该做的工作要费钱得多。为了给建筑结构提供合适音质必须研究噪声源、处理方案和声辐射特性的例子。



图中标示出建筑声学中的一些因素。其中有噪声源、声辐射特性，在做处理方案时，必须全都考虑到。

超声学

声信号常用来探测固体内部的目标，像金属中的杂质，或隐藏在液体中的物体，像浸没在海洋中之物。这种为目力所不及之物的探测与认定，乃是超声学的应用之一。超声波，或频率超出人耳听觉限度的声波，在医学上也很重要。常用来研究人的内脏，确定胎儿的情况，探测应从人体中取出的异物。使用的仪器既要发射超声波，也要接受遇到障碍物而反射回来的声波。此技术亦用于潜艇对海洋中目标的定位和工程师设计的海中探测用的机器人中。

应力测试

声技术的另一应用是涉及对机器主要部件的无破坏性的评估。例如喷气发动机、燃汽轮机或核蒸汽发生器的材料的持续可靠性，对于安全和正常运行都是至关紧要的。为确保其可靠的运行，在系统实际运行之际要有评检这些部件的技术。方法之一就是：利用因设备运转而受应力的部件的声发射。当汽轮机的叶片、轴杆或其他部件受应力而变形时，就会发出它的本身的特征声音频谱，可以用做鉴定（这方法和由人的声音频谱而识别人的方法一样）。若有部件失灵，则其发声频谱就要改变。这种变化提醒人们去更换部件，以免引起整个设备出大毛病。

信息交流

说话与听声的领域处于现在声学之外。例如，当热闹马路上行人遇到非常事件时，最初的征兆往往是听到一种突然异常之声。这种从一定方向听察到声音警告的能力，为人类生存所必需。用语言来交往是人类独具的能力，不过早就习以为常。一天这种能力要用多少次？一人每天要打多少次电话去得到工作任务的信息，约定一个日期，或查问一部新影片？电话呼叫的每一地点，传送口头信息的电话系统，讲话人和听话人每人所处的环境以及受话端的人，所有这些就构成一复杂系统。声学科学家则埋头深入地对此系统加以研究，以求改进通讯。（参见：**声音**）

撰文：Larry H. 和 Julia Royster

声音 SOUND 每种声音都由振动产生。声源或是一小提琴、一汽车喇叭或一条吠犬。不管是何声源，当

它发声时，总有一个部分在振动。这种来自声源的振动对空气起干扰作用，产生声波。这种波从声源向四面八方传开，好像气球膨胀似的。若这种声波到达人耳，就会引起振动而听见了声音。

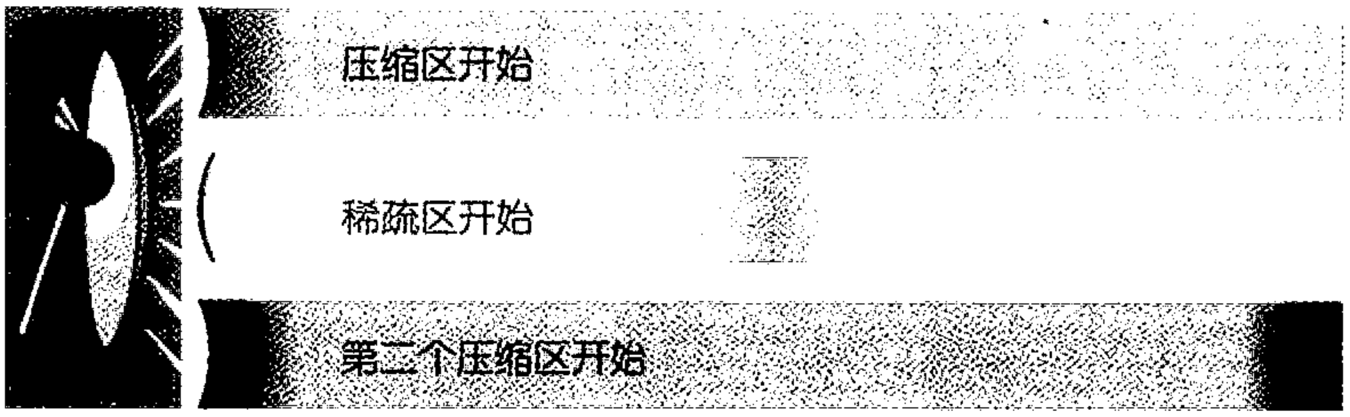
所以，声音靠三件东西。即产生声波的声源，传送声波的介质（如空气），和发觉声波的接收器。声波不能在真空中传播。

长久以来，一直存在着声音的定义问题。若树林中有棵树倒下但远离任何声探察器（如人耳或扩音器），则树倒会有噪声吗？当然，答案是与声波如何定义有关的。如果考虑到这时空中带有声波，则回答便是"有"——有声波处则必有声音。但若主观地定义声，例如，作为耳中的感觉，则回答肯定是"无"。对后一情况，除非当场有察觉声的接收器，否则声音是不存在的。对声而言，这两个定义都对。

声的发生与传播

许多声源所生的振动，很容易察觉出。例如，一收音机的扬声器作强烈振动，特别是当音量开大时。用手轻摸扬声器的锥边时，手指尖就会有发痒的感觉。唱歌时若用手摸喉结，当低音调时，可感到声带在振动。物理课堂中一常见的实验便是：先敲一下音叉，再将其插入水中。振动着的音叉便会将水溅起，并在水面上形成容易看到的水波。

声波的形式和传播



当敲锣时，锣的金属面先向外凸，将空气分子压得更靠近，而给予它们能量。受锣面压缩的气体分子推压其他分子并使它们运动，形成在空气中传播的波。当第二个波形成时，前一波继续向前传播。在两相邻的压缩区之间，形成了一稀疏区。

有人常将声波比做水波，其实两者是很不相同的波。我们不妨来看看：当物体在空气中振动时，究竟发生了什么？假设有人在敲锣，如上图中所示。当锣振动时，锣面迅速交替地上凸和下凹。这种运动拉或推着紧靠敲面处的空气。空气是由众多（每立方厘米中有上亿个）分子组成的（见：空气）。因此，当锣面凸向右方时，它便挤压紧靠锣面的空气分子，使其相互靠紧。这些分子向右冲压其他空气分子，而后者也同样来压挤其旁尚处于静止的众分子。这样，就形成了一向右前进的压缩区。这个压缩区离锣面向外传播，它愈走愈弱，而最终消失。

当然，像以上那样一个单一的声波是不会产生声音的。当锣不断振动时，锣面每一外凸都会建立起一个新的压缩区。在每一对相邻压缩区之间，有一空气分子较正常的稀疏区域。这种稀疏区对应于锣面的下凹，这时锣面对空气分子是拉而不是推。这整个一群的压缩和稀疏区（总称疏密波）从锣向外传播，形成了为我们所闻的锣声。声波是从声源向四面八方传播的。

声的速度

声音有一定的传播速度（简称声速），这与声音的强弱、柔和无关。不过，温度会影响声速。在室温（21℃）下，空气中的声速为344米每秒。每升高1℃，声速约增高0.6米每秒。气压对声速影响甚微或无影响。湿度则稍有影响，声速在湿空气中较干空气中为大。由于344米约为1公里的$\frac{1}{3}$，声走1公里约花3秒钟。因此，从见闪电到闻雷声经过多少秒时间数，就可知闪电发生在多远之处，这只要把以上的秒数除以3即得公里数。

不少物质中的声速比空气中的高。和所有气体一样，空气属传声波很慢的介质。液体如水，传声较快；而硬固体，如铁与石头，则传声最快。下面表中，给出不同物质中的声速。声波在液体和固体中传播的情况与在空气中相同，不过，液体的分子动得不像气体中的分子那样自由，而在固体中则更不自由。可是，固液体中压缩波的形成与传递，则与在气体中的正好一样。在良传声体中，声音不仅传得快，而且在消失之前也走得更远。

有少数固体的传声比空气还差。例如，橡皮、软木和毛毡的吸声作用，胜于其传声作用。因此，这些材料常用来隔音，以消除无益的噪音。

各种物质的传声率

空　气	344	米/秒
水	1 462	米/秒
木　头	3 847	米/秒
铁	5 127	米/秒
石　头	6 000	米/秒

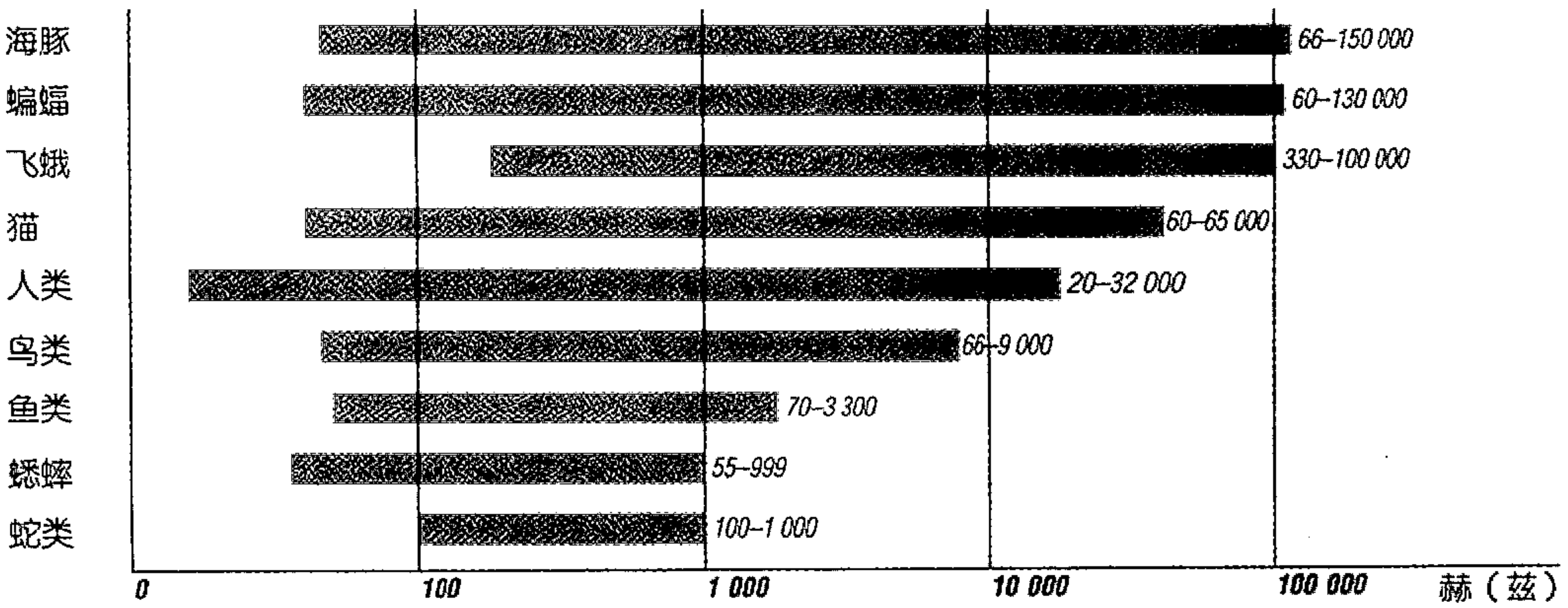
大多数我们听见的声音是从空气传入耳中的。因而我们往往认为空气乃是传声波的"标准"介质。不过，相对地说，它并非良好的传声体，如表中所示。这些都是指温度为21℃时的声速。

声的音调

有的声音的音调高有的则低；有的响而有的则仅仅可听见；有的悦耳而有的则刺耳。任何一个纯音的三个基本要素为：音调、声强和音品（或音色）。

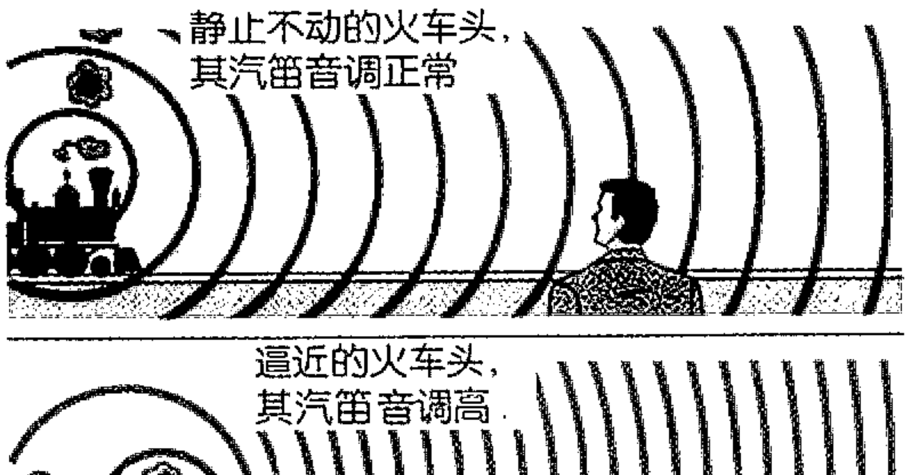
音调就是产生的音振动之频率。这量常用 Hz（即 hertz 赫兹，或每秒周数，1 周便是来回振动 1 次）来表示。赫（兹）数即音的频率数。音的频率愈高，则其音调也就愈高。当一萨克斯管吹出高于中央 C 的 A 调时，管吹口簧片的振动频率为 440 赫。2 倍其频率（880 赫）则给出高 8 度音的音调，而减半其频率（220 赫）则产生一低 8 度音的音调。

一些动物能听到的频率范围



如表中所示，人类和一些其他动物可发出（发射）与听到（接收）的声音范围很广。频率范围是用单位赫（兹）来表示的，这是科学上采用的声音频率的单位。赫（兹）数等于每秒钟内的循环或振动数。

多普勒效应



当一火车头不动时，其汽笛发出的声波是疏密均匀相隔的。但是，当车头向观察者行驶时，则在声源前面的声波相互靠紧，使笛的音调升高。车头驶过观察者后，汽笛音调忽然降低，因车头后面的声波分布较散。

另外一种定音调的方法是利用音波的波长。某特定音的波长等于声速被音的频率来除。假定频率为 440 赫，这意思就是：每秒钟形成了 440 个压缩区。由于声速为 344 米每秒，则两相邻波之间的距离就是 $\frac{344}{440}$，或 0.78 米。这就是该声音的波长。

若声源在运动，声波则沿一方向缩短，而沿另一方向伸长。这种波之伸长与缩短会使声之音调产生变化。这种现象称为多普勒效应，因首先由奥地利物理学家 J. C. 多普勒对此作出解释。

人的听力

人耳不能听到所有频率。很少人能听见低于 16 赫或高于 20 千赫频率的声音。音乐很少使用整个这段听觉频率范围。钢琴最低调的频率为 27 赫，而最高调只略高于 4 千赫。调频广播台发射的音调高达 15 千赫。这可从一高保真度的接收机中听到。

声强和音品

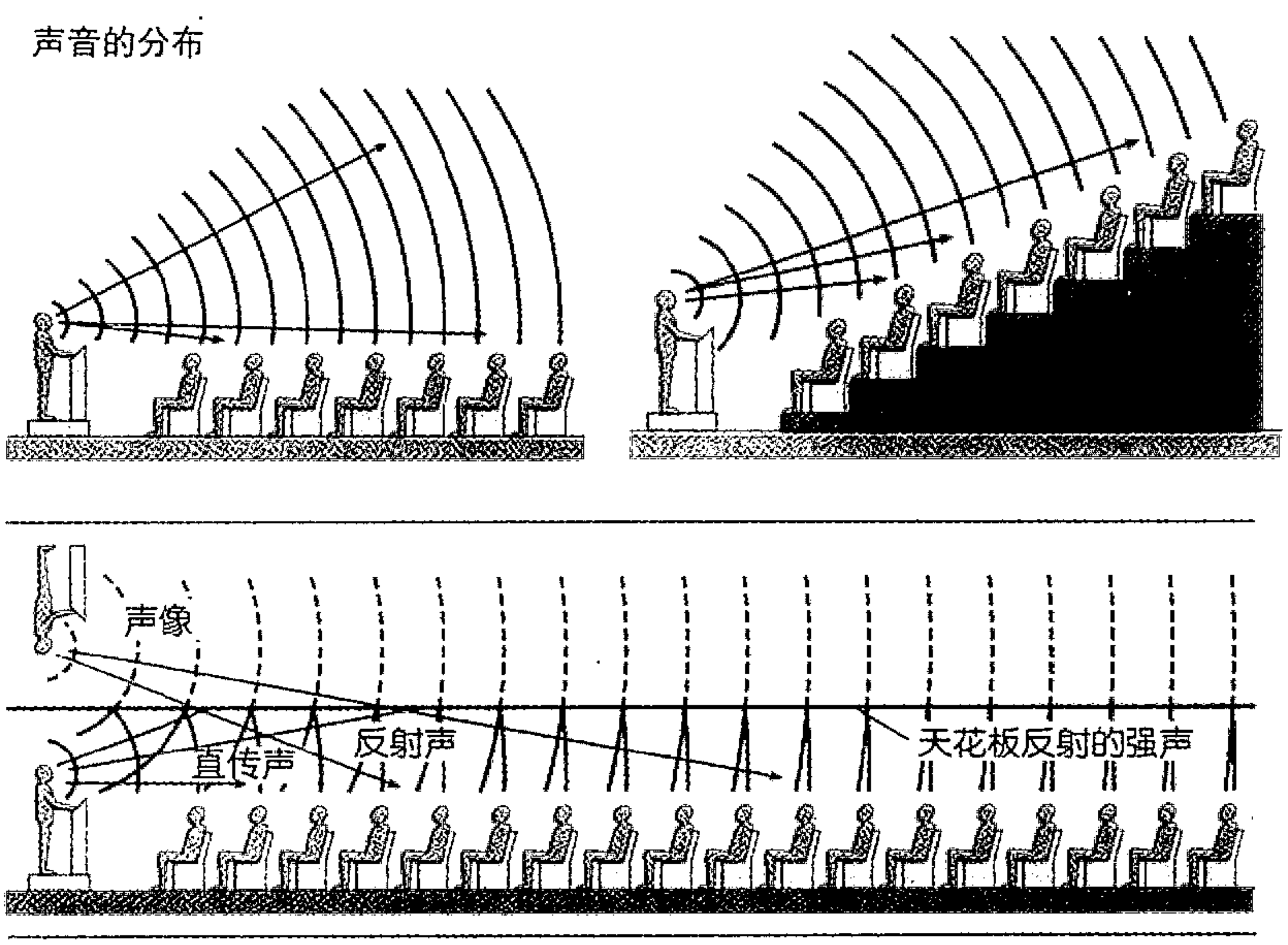
声强与其频率无关。高调之音可轻可重，而低调之音亦然。音的强度（或音量大小）与产生声的振动的强度或振幅有关。例如，轻按钢琴键则琴弦振动轻。此弦则在一窄弧条上来回振动，而发出轻柔之声。但若重按琴键，则弦在一更宽的圆弧段中振动。更强的振动就产生了更响的声音。其理由是：大振幅的振动挤压空气分子厉害，而给它以

更高的能量。当这样的一列强受压区进入人耳，人脑就会将其译为一响音。声音的强度是用分贝(db 即 decibels) 来测量。在这一尺度中，0 代表最轻的可闻声。沙沙响的树叶声的强度约为 20 分贝，街道上平均噪音级为 70 分贝，附近打雷声为 120 分贝。超过这个级，则会引起耳痛，而经久地暴露在这一级别的响声中会伤毁听力。

声音的音品或音色比音调或声强更为复杂。笛声悦耳而蓝樫鸟的尖叫声却很刺耳。这两种音都不是单音调的。笛可发高于中央 C 的 A 调。可是除 440 赫的频率外，它还发出更高频率的音。这后面轻而音调更高的音便称为泛音。仍以笛为例，它主要的泛音有：比基音高 8 度与 12 度的音。对基音为 A 的音调而言，它的泛音是指下一个 A 调和 E 调。这些泛音是和主(基)调相和谐的，因而使笛声悦耳。

其他乐器的音则各有其不同的泛音组合，而使其各自独具自身的音品。人发音和像小提琴与钢琴等弦乐器的声音中，有很丰富的泛音。同音阶的律音，其泛音的和谐性比其他的音要好。

我们觉得是粗糙的声音，是由互不和谐的音所组成的。如对樫鸟的沙哑叫声进行分析，就会发现是由一些极不和谐的音所组成。所有的噪音都是由杂乱相混的音组成的，由于它们互不相关，就不悦耳。



在演讲厅中，听众听到讲话人声音的途径，不仅与厅的结构而且与座位的所在处有关。图中左上图表明在一露天讲厅中，听众坐在地面上座位时的声波分布；右图则表示出古典希腊露天剧场的阶梯中的情况；而一设计完善的室内平面座位的演讲厅则使声音具有最优化的分布。

声波的反射和聚焦

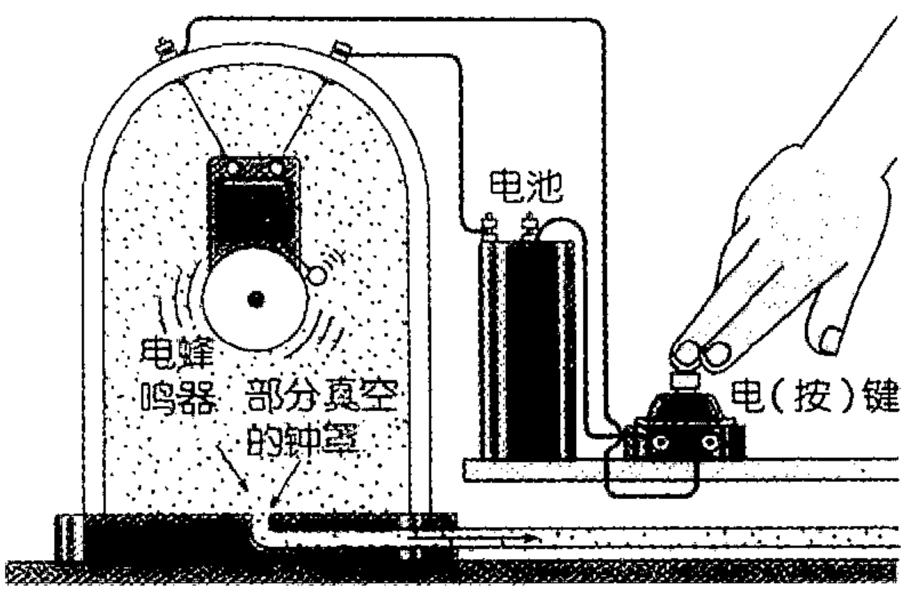
声波和光波一样，也会有反射与聚焦。回声就是简单的声反射(见：回声)。一个平的面，如一面墙或一峭壁，其反射声音较一不规则表面为好，后者的反射声波将四散。在雾天，船长从船上汽笛之回声，常能说出附近是否为一多山的海岸。同样，水中的声纳设备，与上相似地利用超声信号的回声来探察潜水艇。该设备量得从潜艇船身返回的回声时间，而算出距离来。探测器则利用海底传来的回声测出水深。

音乐台便是将乐队演奏的乐声加以聚焦，这正好与汽车前灯上反射器的聚光一样。而反射器之反射面都呈旋转抛物面形状。这种面的特性是：能将(入射的)球面波经反射后而成一束波。音乐台的壳顶把声波聚集到听众所在处，而防止它向四方散逸。建筑物内的球形墙壁往往会形成"耳语廊"。若有人在这样的室中某处低语，就可在若干米外之另一处听到。

扩音器和听诊器的聚声方式是不同的。扩音器壁把声波包护住，而只让声音顺一个方向传出，这样来强化声波。而听诊器则是一反向的扩音器。它把分布在较广面积上的声波，汇集在一小面积上。

声波还有别的和光波相似的性质。一种是干涉现象(见：光)。若两个声源产生了两个完全相同的声音，则此两声波会"反相"；即，从一声源来到人耳的压缩波，恰与另一声源来的稀疏波相遇。如果这样，则两波互相抵消，而无声可闻。

介质中声音的递减



声波必须依靠介质例如空气来传播。这里，在钟罩内挂有一电蜂鸣器。当把罩中空气不断抽去时，蜂鸣声就逐渐减弱，直到最终消失。

干涉可形成声之拍。例如，有两只风琴管，其振动数略有差别，若两者一起发音，则声音便有起伏。若其振动数之差别为每秒3次，则两声波在1秒钟内，会反相3次和同相也3次。当两波反相时，则会有瞬刻的相对无声。当同相时，两波互相加强，而强化了声音。

乐音的产生

有四种乐器——弦、管、打击和电子乐器。每种乐器有其不同的发音方式。

弦发声大概最容易懂。振动弦的音调取决于两个因素——弦的紧张程度或张力(拉伸它所用之力)和弦之长度。张力愈大则弦音调就愈高。实际上，小提琴弦的张力是一定的。提琴家是用左手手指来按短琴弦，使其音调提高。

当在弦的一边，用弓来拉弦、拨弦或击弦时，弦立即会以几种方式作振动。它会作整段振动，而发出基频音。还会同时作两段或三段的振动，可发出轻微可听见的泛音。

小提琴的音量大部分是由于共振所产生。若无提琴之体壳，则只靠弦就只能发出很弱的音。而琴之体壳，是用来随弦作共鸣的。弦之振动传至乐器的体壳中。它与其中的空气随弦作同频率之振动。由于木壳的质量比弦的质量大得多，所以前者发出之声波比后者要强得多。钢琴弦的音也同样地为其共鸣板所加强。

回声 ECHO

在希腊神话中，山林中的半神半人的美丽少女艾珂(Echo)，无望地苦恋着纳克索斯(Narcissus)神，而他却只爱水中的自己的影子。她日益憔悴，直到她的声音虚弱得只能在听到呼唤她的最后一个词时轻轻地哼哼。

这是对回声的富有诗意的希腊解释。科学的解释则是坦平表面所反射的声波。不规则的表面使声波破碎，就如岩岸使水波成为浪花。平滑表面例如悬崖，也反射声波，被听到的反射波就是回声。

因为反射波已减弱了强度，在发射的声音停止以前，它们是听不到的。人们站在离反射表面100英尺(约30.5米)处，只能听到回声的最后一个音节。如果人们站得更远些，能够听到越来越多的音节。

牛顿曾经使用剑桥三一学院的长廊测量声音的传播速度。他站在廊的一端，跺脚发声。这些声波从廊的另一端的墙壁返回。他知道来回距离，并测定从跺脚到听到回声的时间。从而他算出声的速度，其值和当代科学所确定的，只差几英尺每秒。

电 ELECTRICITY

电使世界经济及其工业、运输与通信系统的现代化成为可能。古老的能量形式，如水力或蒸汽，在生产的地点与数量上受到限制。电就没有这样的局限，它可以用到任何地方，甚至远至太空。

电的发展已使得大多数国家的文明程度发生全面的变化。将电力应用到家庭生活中，用于照明、厨房用具、电视机、无线电、电炉、计算机、汽车库门等等。电的广泛应用已使人们难以想像没有电的世界将变成啥样：街灯将不能点亮，电话将不能工作，店铺与工厂将暗淡无光。

也是由于各种电力，印有这些字的纸张才结合在一起，这些字才得以印在纸上，铅字才能铸成它们的形状。事实上电力是将一切物质结合在一起的基础。当人们阅读印就的文字时，电流沿着神经细胞从眼到脑。从雷云到大地间的闪电，以及人们在干燥房间地毯上走动时产生的火花，都可以看到电的效应。

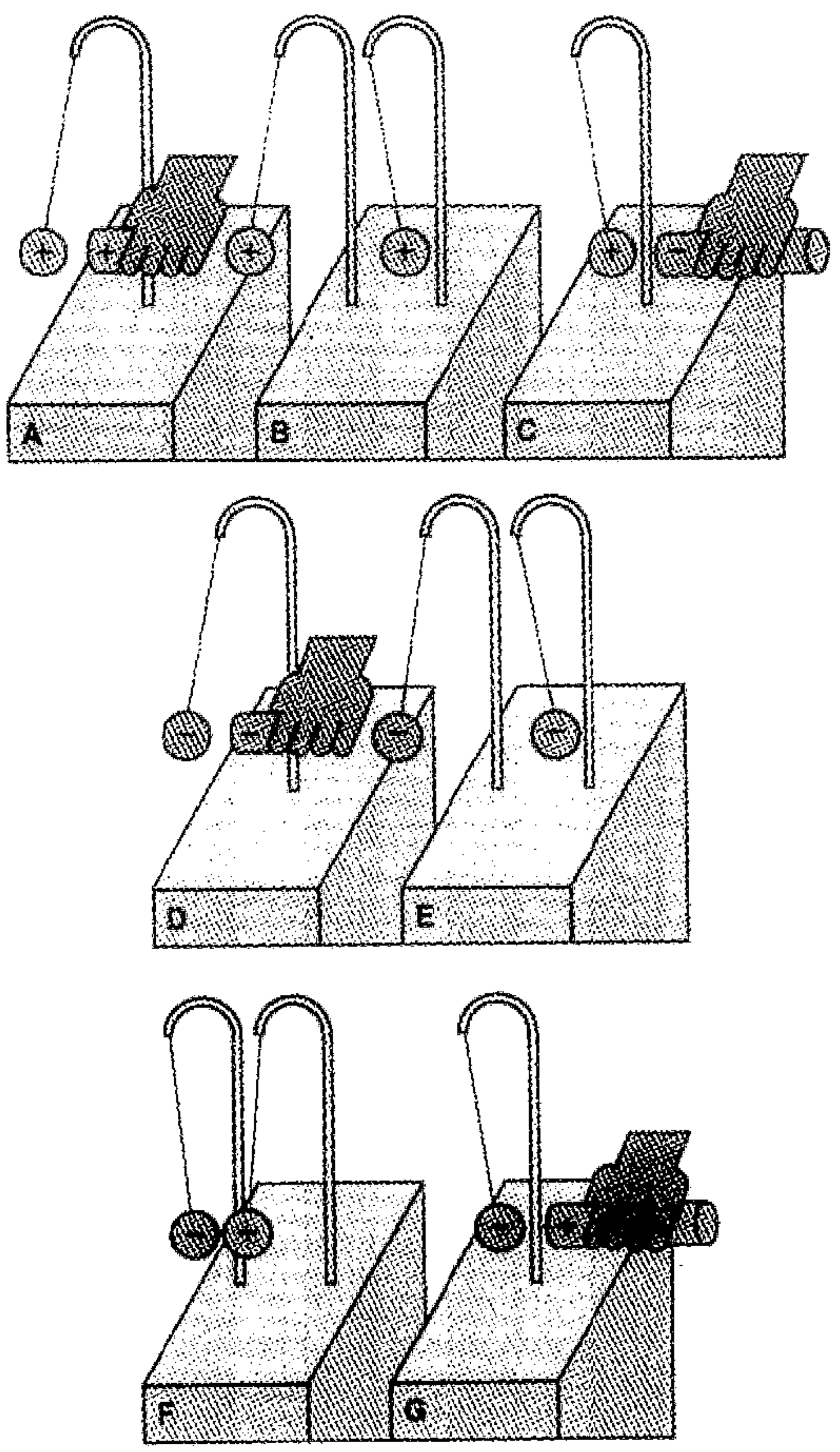
静电与电荷

人们从描述电的效应开始理解电。一种方法起始于观察电在静止状态时(即静电)的相互作用。在寒冷干燥的日子里，梳头可以看到静电的作用，被梳的头发会直立起来，似乎有一种力量将头发拽向梳子。要想理解这种力的性质，就需要知道关于原子结构与电荷概念的一些知识。

如果将丝绸摩擦过的玻璃棒接触一个悬挂在线上的小铝箔球，则可观察到小球会移开玻璃棒，棒与球互相推斥。如果对另一个同样小球重复这个过程，再将这两个小球互相靠近，它们之间也互相推斥。如果又将毛织物摩擦过的塑料棒靠近这样的小球，则可观察到小球会移向塑料棒，它们之间是互相吸引的。又若有两个新的铝箔球与塑料棒接触，它们与塑料棒互相推斥，两球相互间也推斥。但它们与玻璃棒和与玻璃棒接触过的球互相吸引。

这些实验能用正负电荷的模型来说明：用丝绸摩擦玻璃，使玻璃得到正电荷，当它与球接触时，玻璃上的正电荷分出一部分到球上，使这些物体互相推斥。用毛织物摩擦塑料，使塑料得到负电荷，当它与球接触时，将负电荷分出一部分到球上，因而使这些物体互相推斥。

这个实验得出同性电荷相斥的结论。当一个带正电荷的球靠近一个带负电荷的塑料棒或球时，可以观察到吸引现象。当一个带负电荷的球靠近一个带正电荷的玻璃棒或球时，也可以观察到吸引现象。以上得出异性电荷相吸的结论。不管一个物体怎么带电荷，只要它能吸引带负电荷的球，它必然会推斥带正电荷的球；反之亦然。这使得人们相信只存在两种形式的电荷。



用丝绸摩擦过的玻璃棒和几个铝箔球相接触，它们都带了正电而互相推斥。另外几个铝箔球和经羊皮摩擦过的塑料棒相接触，它们带上了负电，也互相推斥。带了性质相反的电荷则互相吸引。

需要用一个物质的模型来解释为什么只能产生两种带电荷的棒。原子包含两种形式的电荷，人们称之为正电荷与负电荷。每个原子由带正电荷的原子核与环绕其周围分布的带负电荷的电子组成。每个原子核包括一定数量的质子，即带正电荷的微粒。(除了氢原子以外，原子核还包含不带电荷的中子。)在一个不带电荷的原子里，具有同样数量的质子与电子，这样的原子是中性的。若一个中性的原子丢失一个或更多个电子，即它具有过量的质子，就带上正电荷。若一个中性的原子获得一个或更多的电子，就变成带负电荷的了。

那么这个简单的原子模型怎么与静电实验有关呢？摩擦动作产生带电荷的物体。因为它能把某种原子中的电子拉出来并转移到其他物体上去。若用毛织物摩擦塑料，电子从毛织物中取出并堆积到塑料上去，使塑料成为带负电荷而毛织物变成带正电荷。若用丝绸摩擦玻璃，则玻璃失去电子而丝绸得到电子，则玻璃成为带正电荷而丝绸变成带负电荷。

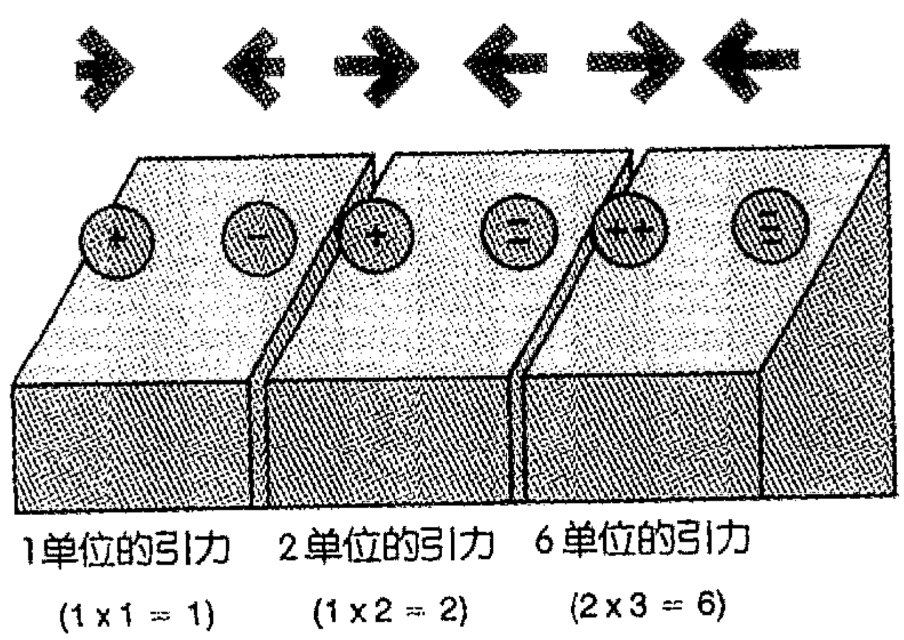
在18世纪，法国物理学家C. A. 库仑指出两个带电物体相互间所承受的电力与它们之间距离的关系。对两个带电荷分别为q_1与q_2且距离为d的点电荷(点电荷为带电荷的小球，其半径远小于两个电荷间的距离)，则其电力F为：

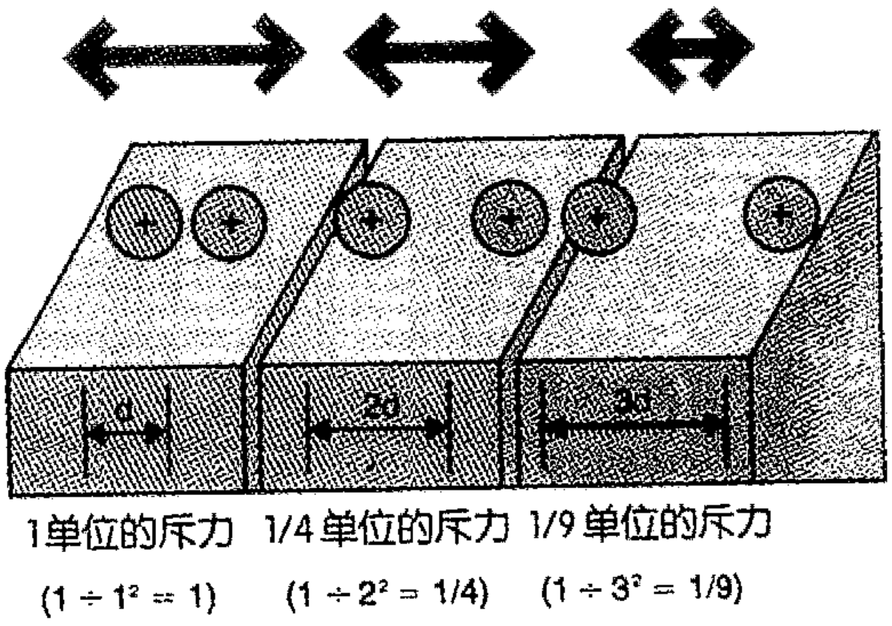
$$F=\frac{kq_1q_2}{d^2}$$

式中k为与电荷、距离及力的单位有关的转换常数。设电荷单位为库仑(C)，距离单位为米(m)，电力单位为牛顿(N)时，转换常数为：

$$k=1.0\times10^{-9}Nm^2/C^2$$

在说明另一个静电现象时，电力随电荷之间的距离增加而迅速减小的这个事实是很重要的。若有一带电的棒，不论带正或负电，靠近一些不带电的小纸片时，纸片开始吸向棒，为什么能发生这现象呢？当带正电的棒移近中性纸片时，纸原子的每个电子向棒靠近而带正电的原子核则稍微推远。中性纸片中电荷位置的变化称为静电感应。由于总体上看中性纸片中的电子比原子核稍微靠近正电棒，吸引力也稍微大于推斥力，故纸承受着余剩的吸引力，向棒移动。负电荷棒也能吸引不带电荷的纸片，而纸内电荷位置的变化与上述相反，也是使吸引力比推斥力大些。静电空气清洁器应用静电感应原理，将不带电的尘粒吸到带电的帘上。用于燃煤发电厂清除烟尘的静电吸尘器就是基于同一原理的大型设备。感应带电也发生在低空带负电荷的雷云使地面感应正电荷。如果电荷足够强，将会克服空气的阻碍而发生闪电。





两个点电荷间静电力的数值和电荷数值的乘积成正比(左图)，而和电荷间的距离的二次方成反比(右图)。

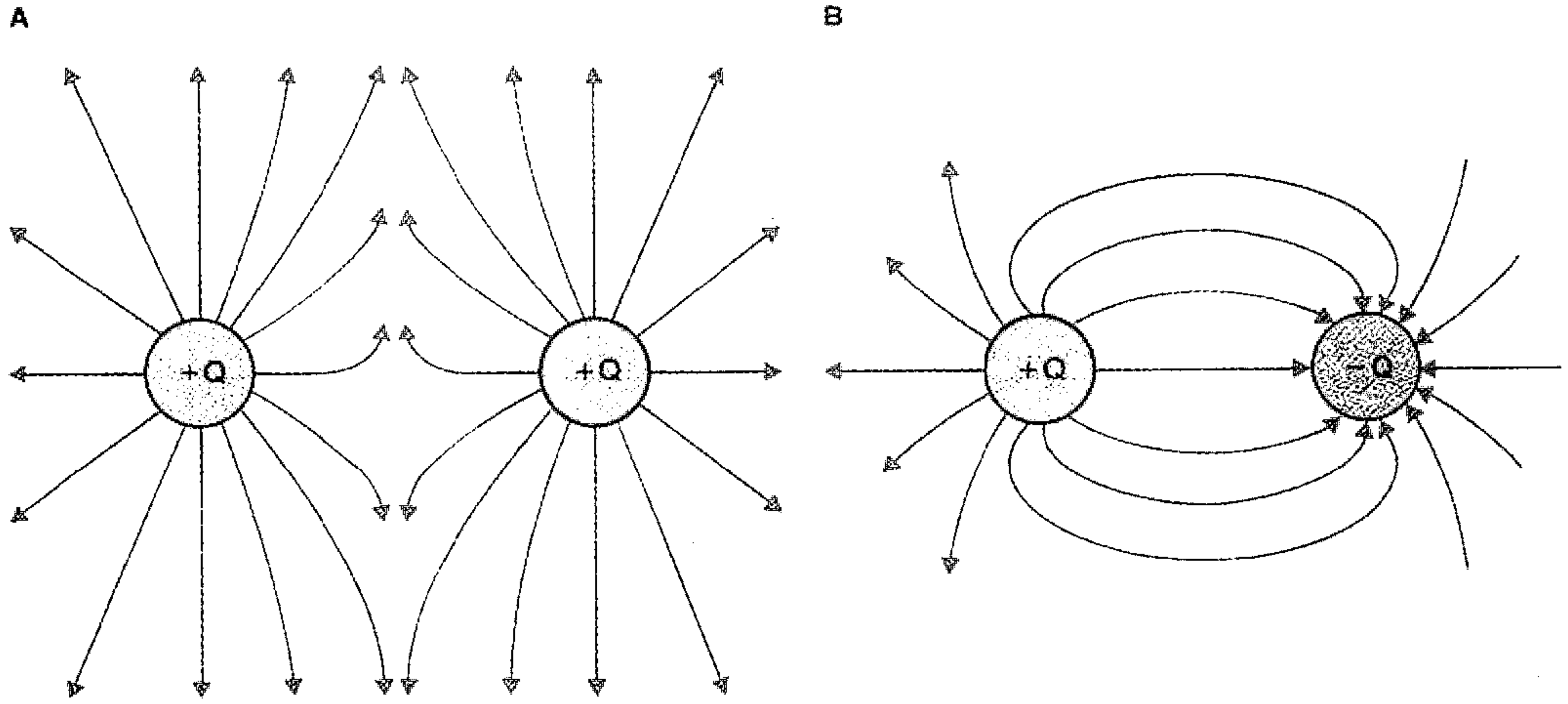
电场

带电荷的物体能通过一定距离将力施加到不带电荷的物体上。电场提供一种方法来描述在电荷周围空间的任一点可能产生的效应。某点的电场强度(场强)E定义为位于该点的试验电荷上的电力 F 与置于试验电荷的量 $q_{试}$ 之比：

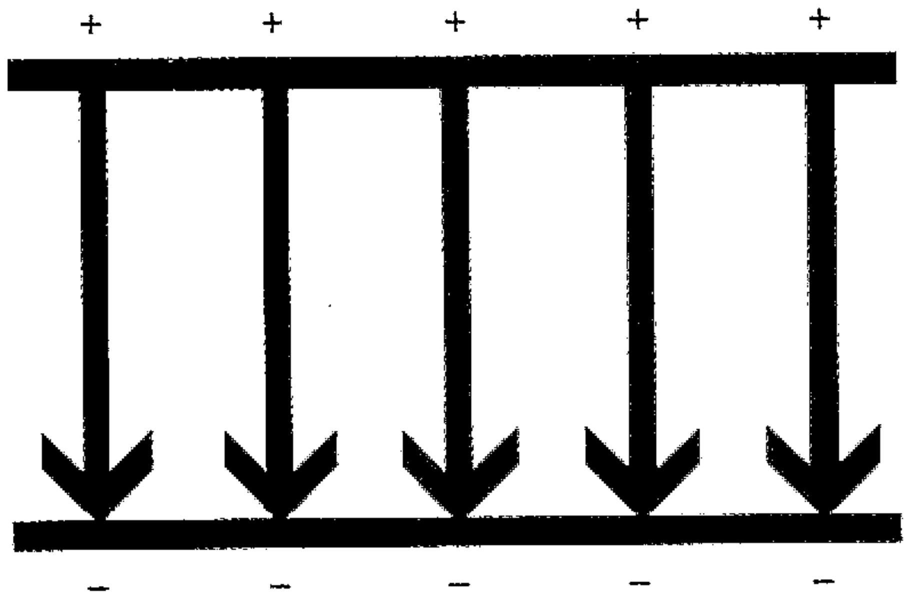
$$E=F/q_{试}$$

(试验电荷是为用于探测电场强度而置于电场内的一无穷小的电荷。)此公式确定空间任一点的 E 值,不论试验电荷量的多少,在场内每一点其电力与 $q_{试}$ 的比值都各有定值。

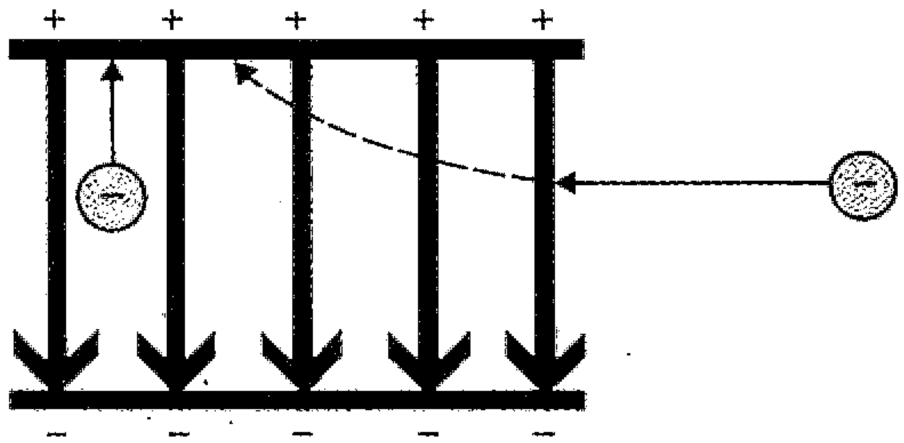
电场强度为一矢量。矢量有数值,还有方向。可以用一个箭头来表示电场强度。箭头的长度表示场强大小,其方向是场内放一正试验电荷时的力的方向。若将空间许多点的各自的场强矢量连起来,就能得到表达该电场概貌的线。这些线称为电力线,是由 19 世纪英国科学家 M. 法拉第所构想的。这些线越密集,表示场越强,试验电荷上的力就越大。若将正试验电荷置于场的任意点上,这电荷所受的力将与电力线相切。一个特别简单的电场存在于两个带相反电荷的平行板空间内,板间的电力线是等距分布的,表示各处电场强度是相同的。这样的场称为均匀电场。一个电子位于这样电场内的任意点,该电子将匀加速地向着正极板运动,因为它所受的电力是恒定的。(注意电子带负电荷,按与电力线相反的方向运动。)若电子以平行板的方向进入均匀场,它将会弯向正极板。场越强,偏转越甚。这样的场用来控制示波管内电子束的扫描。



带相同电荷的两球间的电力线是相互离散的(图 A),带不同电荷的两球间的电力线是相互汇聚的(图 B)。



在带相反电荷的平行板间的电场是均匀电场,图中用箭表示的电力线互相平行并等距分布。



左边的电子在均匀电场中匀加速地向正极板运动。右边的水平方向运动的电子在均匀电场中循抛物线运动。

电势差

如将一正试验电荷置于接近一个位置固定的正点电荷时,则会加速离开,并增加速度与动能。相反地,如将此正试验电荷向着固定的正电荷方向移回来,就必须对试验电荷做功。在此过程中,由于场内试验电荷的新位置,能量作为电势能贮存着。当电荷在电场内由一点移至另一点,电

势差是其能量变化的量度。数学公式为：

$$电势差=\frac{能量变化}{移动的电荷量}$$

电势差的测量单位为伏（特），有时将电势差称为电压。当场内各点间无电势差，也就是零电压，在这些点间无电荷移动的趋势。相反地，如果场内两点间有大的电势差，则正电荷将由高电势趋于低电势，而负电荷的移动方向相反。

一个铭牌为 1.5 伏的干电池，正端的电势要比负端高 1.5 伏。这个电势差也称为电池的电动势（emf）。1.5 伏标示每库仑电荷在电池两端点间移动的能量改变值。端点间每库仑电荷的移动获得 1.5 焦耳的能量。当用导体（不阻止电子运动的材料）连接时，电子通过导体由干电池的（－）端移向（＋）端。电子的运动对应于导体内建立的电场。如果电池用绝缘体（阻止电子运动的材料）把电池的两端相连，在绝缘介质内电子极难流动。因为空气是绝缘体，干电池的端点除非用导体相连，电子是不会运动的。

如果电势差很高，即使没有良导体，电荷也能通过场运动。例如电视机的显像管，电子从称为阴极的热电极发射出来，被高电压（10 000 至 50 000 伏）加速并飞过抽成真空的管子，撞击到涂有荧光材料的屏幕上，产生瞬时光点，看起来像图画。这种管称为阴极射线管或 CRT（这时的电子称为“阴极射线”）。阴极射线管还有许多其他应用——例如医疗上用来显示心率与脑电波数据的示波器。

电流

电流是电荷运动的速率。运动电荷可以是电子、质子、离子甚至是半导体内的带正电“空穴”。当电荷 q 用库（仑）量度，时间 t 用秒量度，则电流 I 用安（培）表示，即定义为库（仑）/秒：

$$I=q/t$$

1 安电流即是在电路上的某一点每秒通过 1 库（仑）的电荷。因为每个电子只带 1.6×10^{-19} 库仑的电荷，故 1 安电流——正常地通过功率为 220 瓦的白炽灯的电流——意味着灯泡灯丝的任一截面每秒钟要通过 6×10^{18} 个电子。即使在大部分电路中实际上是电子在运动，习惯上是以正电荷移动的方向定为电流的方向。虽然电荷运动通过灯泡中的灯丝，而灯丝本身是不带电荷的，在灯丝内正电荷与负电荷的总和是相等的。

能受电击而致命的是电流而不是电压。小于 0.005 安的电流经过心脏不至于造成危险。约 0.1 安的电流，即使持续 1 秒钟，一般就要致命。

化学电池

化学电池或称电池能使电子流动。将锌（Zn）与铜（Cu）金属条悬置于盐溶液中构成简单电池。在用导线把金属条连接前，在每个金属表面就存在着动态平衡。一些锌原子丢失一对电子，成为 Zn^{2+} 离子。当 Zn^{2+} 移动至溶液中，电子留在锌金属上。与此同时也以相等的速率进行相反过程。Zn^{2+} 离子得到两个电子并附着在锌条上成为原子。在铜表面存在着相似的平衡，涉及铜金属与 Cu^{2+} 离子。

当用导体把金属相连时，这样的平衡被破坏了。因为锌原子比铜原子容易失去电子，驱使电子通过导线从锌条流至铜条。当电子离开锌，在锌条上形成 Zn^{2+}，而 Cu^{2+} 得到电子成为铜原子。当电子在外电路运动时，溶液里的正离子从锌条移开，而负离子从铜条移开。

电池可用各式各样的化合物构成。任何两种对电子具有不同亲和力的物质悬挂在允许离子迁移的介质中都能形成电池。

电路

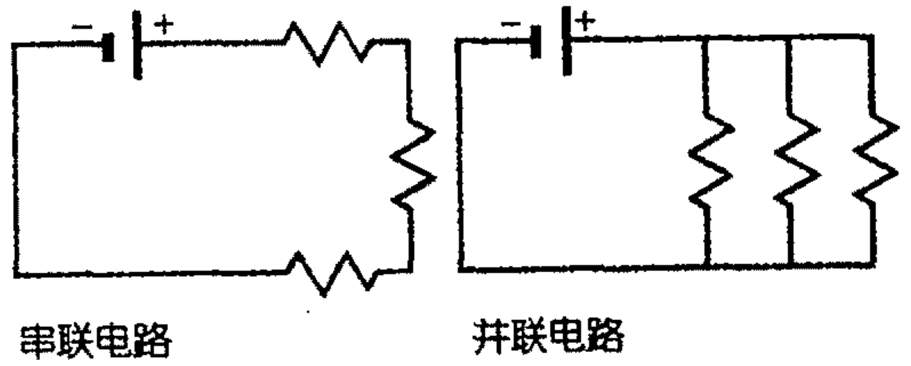
用导体将电池的端点连接起来就构成电路。利用电池内部的化学反应，在电池的端点间产生电势差，在导体内就有电子流动，从负端点流向正端点。19 世纪德国物理学家 G. S. 欧姆指出这样的电路里的电流与电池的电压有关，电流数值也与导体的性质有关。

不同性质的导体是以给定电压下阻止电子流动的程度来区分的。他把导体的电阻定义为跨接导体两端的电压（伏）与通过该导体的电流（安）之比：

$$电阻=\frac{电势差}{电流}=\frac{伏}{安}$$

电阻的单位为欧姆，一般是用希腊字母 Ω 表示。

跨接导体的电势差越高，流过导体的电流就越大，当电子挤过导线时产生的热效应也越大。导线在有电流通过时能产生相当多的热能的称为电阻器。例如，白炽灯泡的灯丝，或电烤面包器、衣服烘干机内的热元件，都是电子强行通过这些电阻器而产生热的。如果电流很大，产生的热可用来焊接金属，或在电炉内熔炼金属。两个或两个以上的电阻器可以在电路内串联，更多的情况是并联。



符号 ‖ 表示维持电势差的电源，例如电池，在电路中电子从电源的负端（较短线），向正端（较长线）运动。

符号～代表电阻器。

串联电路　电阻器被串联时，通过一个电阻的电流，也通过下一个电阻，等等。串联电路内任一截面通过的电流是相等的。这种电路的总电阻计算简单，是各单独电阻器电阻 R_1，R_2…等的总和：

$$R_{总}=R_1+R_2+\cdots+R_n$$

设跨接这些电阻器的总电势差为 $V_{总}$，则电路内的电流为总电阻所限制：

$$I_{总}=\frac{V_{总}}{R_1+R_2\cdots R_n}$$

在任一个单独电阻器上的电压降由下式给出：

$$Vn=IR_n$$

如果装置只需要低功率运行，线路串联是能做到的。因为每加入一个电阻将引起电路电流下降。如果线路中有一个元件烧毁了，整个电路就断开了。

并联电路 并联线路允许电流通过不同支路。每条支路可以单独用开关接通或断开，以便使用几个或全部装置。一般说来，如果一条给定支路的电阻增加了，则将有较小的电流通过这条支路。并联电路内并联支路越多，总电阻变得越小，总电流就越大。这似乎看起来是矛盾的，但这与人们离开有几个出口的拥挤的电影院很相像。虽然每个出口都存在对人群移动的阻碍，有更多出口就有更大的整体运动速率。并联电阻器的总电阻由下式给出：

$$\frac{1}{R_{总}}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\cdots\frac{1}{R_n}$$

流进各支路里的总电流等于每条支路电流之和：

$$I_{总}=I_1+I_2+\cdots I_n$$

不管电荷经过哪条支路，当它们流经并联的每一电阻器时，它们都是在两个相等电势间流动。因此跨接在并联电路内每个电阻器的电压是相等的：

$$V_1=V_2=\cdots V_n$$

除了能独立使用每个支路的电阻器这个优点外，并联电路还允许增加另外的支路而不影响已经在使用的支路内的电流，因此每个支路内的能量消耗仍保持不变。在家庭里接入到一定电路内的外加装置就是增添了一条支路。但每增加一个装置就使总电阻减小而总电流增加。如果流过导线的总电流太大，就可能导致导线过热甚至着火。可以在总电路上安装保险丝或断路器防止过热。如电流增加到危险点，保险丝过热烧毁，线路就切断。为了使并联电路不致过热，就必需去掉一条或数条支路以增加总电阻并减小总电流。

开关

如果电路是完整的，只要电池在工作，电子总是在流动着。一般情况要求电流能通能断，这就需要开关来做这样的工作。它的作用像吊桥一样。如果吊桥拉开，车辆就不能在马路上通行。正如开关打开，电流就不能流通。开关接通，便使电流流通。电路的接通和断开，取决于开关。

粗细不同的导体的电阻

对电流来说，同样材料的粗导线比细导线具有较小的电阻。这是因为电流是由流过导线的金属的电子构成的。

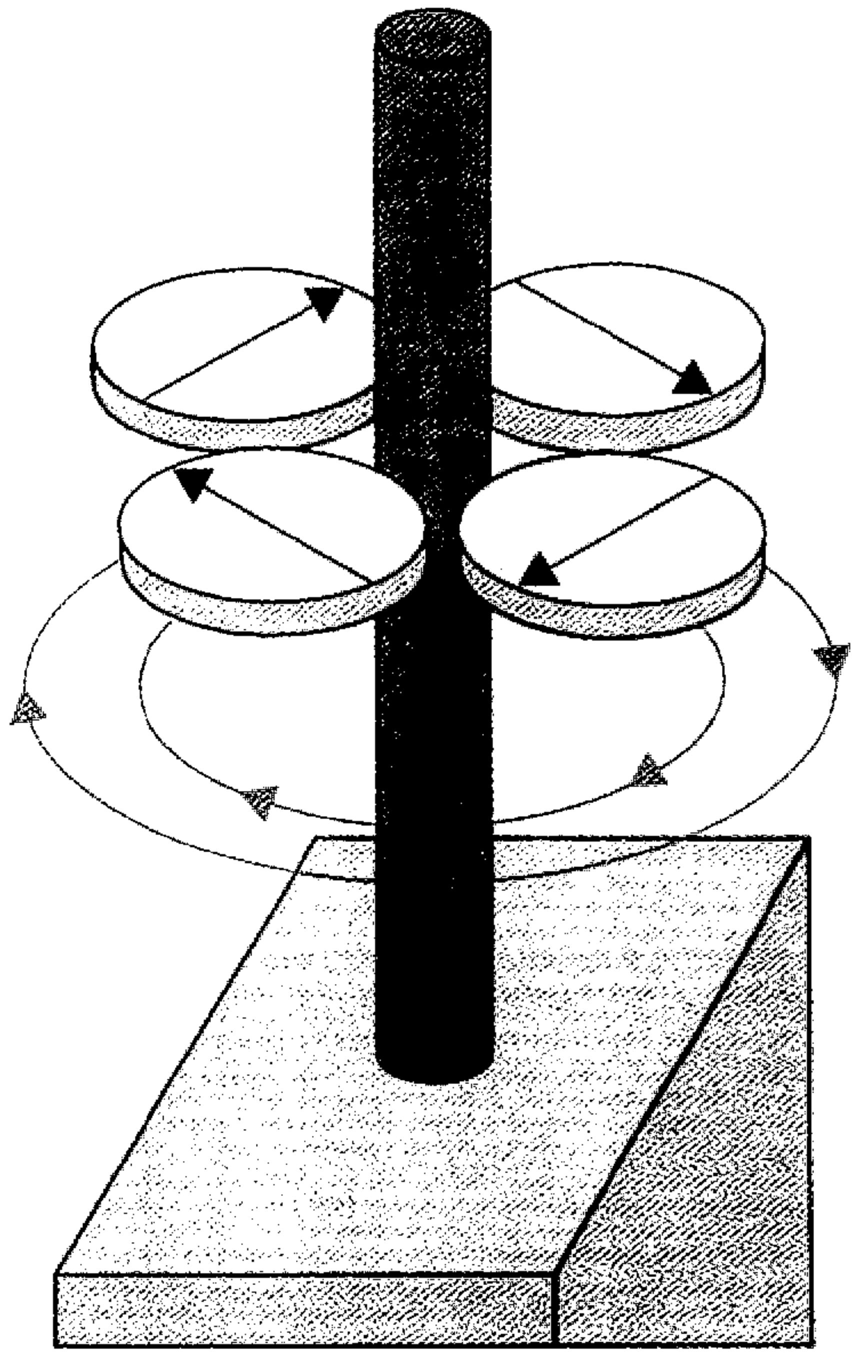
电子由于电路内的电场，在金属的原子间跳跃。具有较大截面的导体允许更多的电子与场互相作用。因为在给定电压下有更大的电流，较大截面的导体就具有较小的电阻。

电子与热

可以用电子的传导来说明电与热之间的关系。当电路内的电场作用在一个电子上，场赋于电子动能（运动能）。当这电子打击一个原子时，它就把大部分能量传递给原子。于是原子加快振动。振动越快意味着越热，因为热是原子的运动能。（见：热）

反过来说，金属发热使电导率稍减小或电阻率稍增加。原子振动越剧烈，就更频繁阻挡电子。于是电子不能直接向前而在偏转过程中消耗额外时间，这样就稍降低电流。在现代理论中，则说是原子散射了电子所带的电子波。

热也能靠作用在两种不同金属连接端来发电。其不热端必须连接在一起使电路接通。也可以把几个连接端串联起来增加电压构成热堆。例如用锑和铋构成的热堆，把不热端置于恒温处，能够探测万分之一度的变化。热堆也常用来测高温。



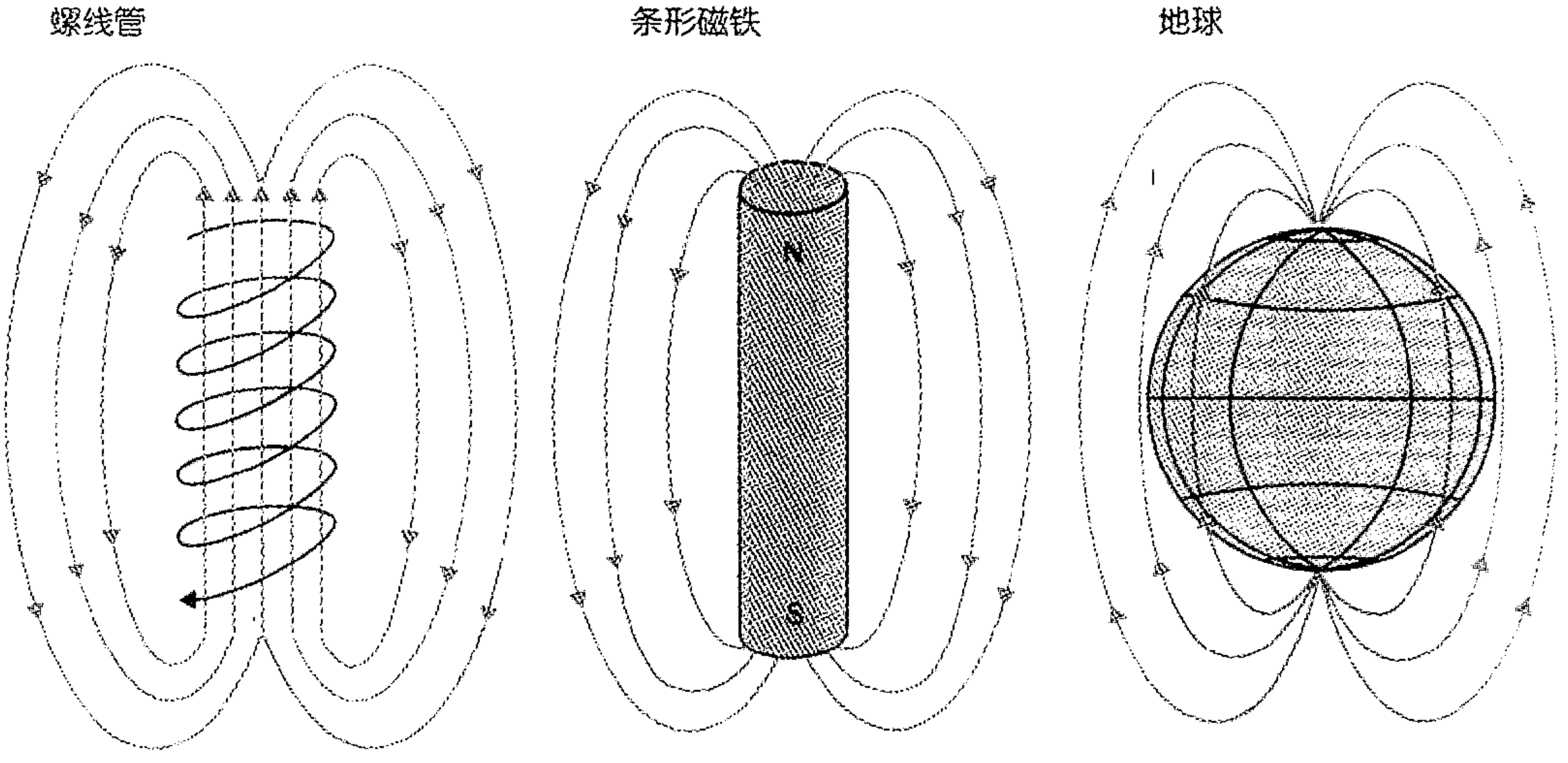
运动电荷产生磁场，图中电子在导体（垂直棒）中运动，磁力线是环绕导体的圆周。靠近导体的磁针受磁力线的作用而偏转。

磁场

1820年，丹麦科学家奥斯特意外发现罗盘上的磁针当接近带电流的电线时会改变指向。上图指出将针放在载流导线的垂直平面上不同位置时所指的情况。如改变电流方向，指针也随着反过来。显然磁场是环绕着载流导线的。这个磁场可以用一系列在与电流方向垂直平面上的同心磁力线来表达。如果电子运动方向是已知的，就可用一个简单定则测定磁场的方向：如导线被左手四指所环绕，大拇指

表示电子运动的方向，则环绕导线的磁力线与四指同方向，磁针方向与这些磁力线的切线一致。（磁场方向定为与罗盘指北针所指方向一致。）磁场总是环绕运动电荷的，不论这电荷是正或负，是在导体内或在空间内。（对于运动的正电荷用右手定则测定磁场方向。）生于德国的物理学家A.爱因斯坦在他的相对论里指出，由运动电荷产生的磁场是由电荷的电场变形所致。这是由于相对运动引起的。如果观测者和电荷一起前移，将探测不到任何磁效应。因此相对于观测者静止的电荷并不产生磁场。（参见：**磁体和磁学**）

所有的磁性都是由运动着的电荷产生的。若电流通过螺旋形线圈，称为螺线管，磁场将直接串通螺线管，并从一端出来。磁场曲线绕过螺线管从另一端再进入。这样的磁场与具有NS极的棒形磁铁所产生的磁场相似。法国物理学家A.M.安培在19世纪20年代初认为条形磁铁的磁场是由磁铁内部的环流引起的。今天人们相信这些环流是由单个原子的电子的运动尤其是它们的自旋引起的。在铁磁体内单个原子的微小磁场排列成磁畴，磁畴内的磁效应是相加的。物理学家难以描绘电子的实际旋转，因为量子理论指出不可能用实验方法来证实这样的运动（见：**量子力学**）。如将未磁化的铁棒插入螺线管内，管中的磁场迫使磁畴的方向趋于一致，从而加强了磁场强度。这样的螺线管与铁棒构成电磁铁。电磁铁形成的磁场比单有电流通过螺线管的磁场要强得多。



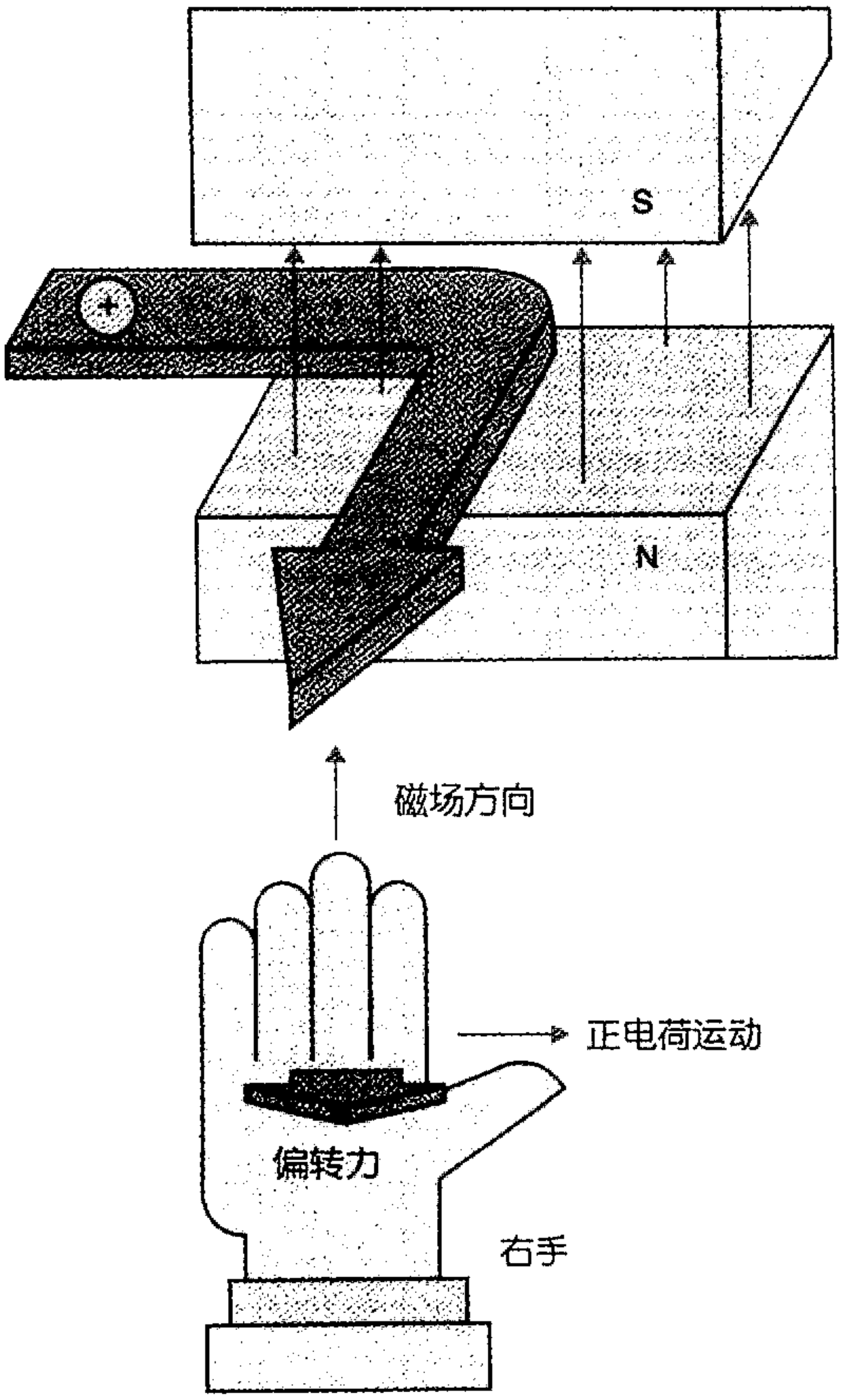
载流螺线管的电磁性，条形磁铁的铁磁性和地球的地磁性，都产生类似的磁场。

录音机与录像机可说明电流产生磁场的实际应用。在录音或录像时，电流在磁头（本身是一个电磁铁）内变化，磁带上磁化微粒的排列与电流变化产生的磁场相符合。磁盘记录计算机数据也是用相似方法。将圆柱形铁块插入螺线管的方法也用在各种不同的装置上。当开关闭合时，螺线管产生磁场把铁吸入其内。这种装置可用在门铃、汽车的起动电动机、洗衣机的水阀，甚至用在一些磁带录音机的磁带传送系统的开关上。

磁场内的运动电荷

运动电荷被磁场所围绕，磁场与磁铁相互作用。运动电荷通过磁场而承受力是不奇怪的，而奇怪的是偏移力的方向。要使电荷发生偏移，电荷的运动必须要有垂直于磁场的分量。一个电荷，不论是正或负，若直接沿着磁力线运动，不受任何力的作用。然而一正电荷自左至右穿过磁场运动，如图所示，将被一向外的力偏移。如这个正电荷自右向左运动，则向里偏移。负电荷穿过磁场运动则向反方向偏移。正电荷的偏移方向可用右手判定：以大拇指定正电荷运动的方向，四指定磁场的方向。（磁场方向由N极指向S极。）正电荷将从原来运动途径向离开手心的方向偏移。对于穿过磁场的负电荷来说，可应用左手定则。

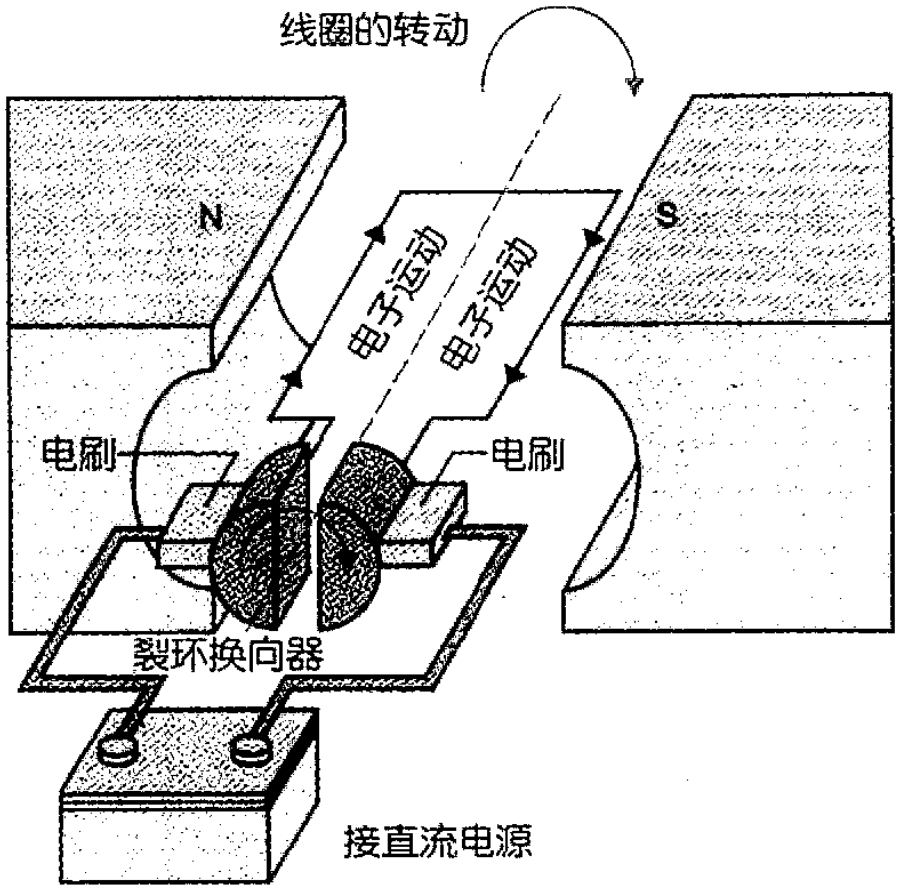
对于电视显像管，磁场是用来控制由阴极发射的电子的。电子随着磁场强度变化偏移从而在屏幕上扫描。在扬声器内，放大器输出的电流通到固定在喇叭锥体上的线圈。线圈与永磁体在一条线上安放。当线圈电流变化时，运动电荷由于永磁体的磁场而偏移。当线圈运动时，使喇叭的锥体振动而产生声波。强磁场使带电粒子在高能加速器的环内保持圆周运动以用来研究质子与中子的内层结构。地球的磁场使从太阳或其他星球向地球发出的带电粒子偏移及分离。这些被分离的带电粒子构成了两个像面包圈状的带，称为范·艾伦辐射带。有些没有被地磁场分离的粒子，由地磁场控制进入靠近极地的大气层。北极光就是由这些偏移的电荷冲撞地球大气层气体分子所形成的。（见：**极光**）



正电荷通过磁场运动时被偏折(上图)。右手定则(下图)指明了正电荷所受的偏折力的方向。类似的左手定则指明了负电荷的偏折方向。

转。当电荷在线圈内运动时偏转力使线圈旋转。为了使线圈保持继续旋转,线圈内电流方向必须每180°变换一次。称为换向器的两个半环装置就是起这个作用的。

电动机 普通换向器电动机具有可逆向运行的发电机性能。它做成旋转电枢与固定磁极形式,也即是由转子与定子构成的。电动机的磁场线圈可能是串绕、并绕或复绕的。串绕组当在电动机带负载起动时快速建立磁场强度。事实上磁场可能产生得过快,这可以用起动箱来防止,即当电动机起动时,逐步增加电源电流。并绕组在电动机达到运行转速时是有优点的。复绕组是串、并两种形式的复合。电动机在起动时应用串绕组,当不再需要很大拉力去取得运行转速时,有一个自动控制开关把并绕组接通。



在直流电动机中,来自直流电源的电子使线圈循顺时针方向转动,将电能转换为机械能。

测量

应用电荷通过磁场产生偏转力的原理制作出检测与测量电流的仪器。检流计与电流表是利用电流通过支在永久磁铁两极间的线圈而检测与测量电流的。当线圈内电流增加时,运动电荷在磁场内引起的偏转也增加。根据所标定的刻度可以测出电流量。测量电流时将电流表串接在电路内。电压表是用来测量电路中两点间的电势差或称电压降的。也像电流表一样,它有一个安装在磁场内的可动线圈。但电压表有特别高的内电阻。流入电压表内的电流取决于由表两端的电势差。电压表和电阻器并联以伏数测量电阻器两端的电势差。

电动机与发电机

电动机是运动电荷与磁场相互作用的常见的实例。在电动机内电能转换成运动能。简单电动机能用一个接通直流(DC)电源的线圈来表示。被支承的线圈可在磁场内旋

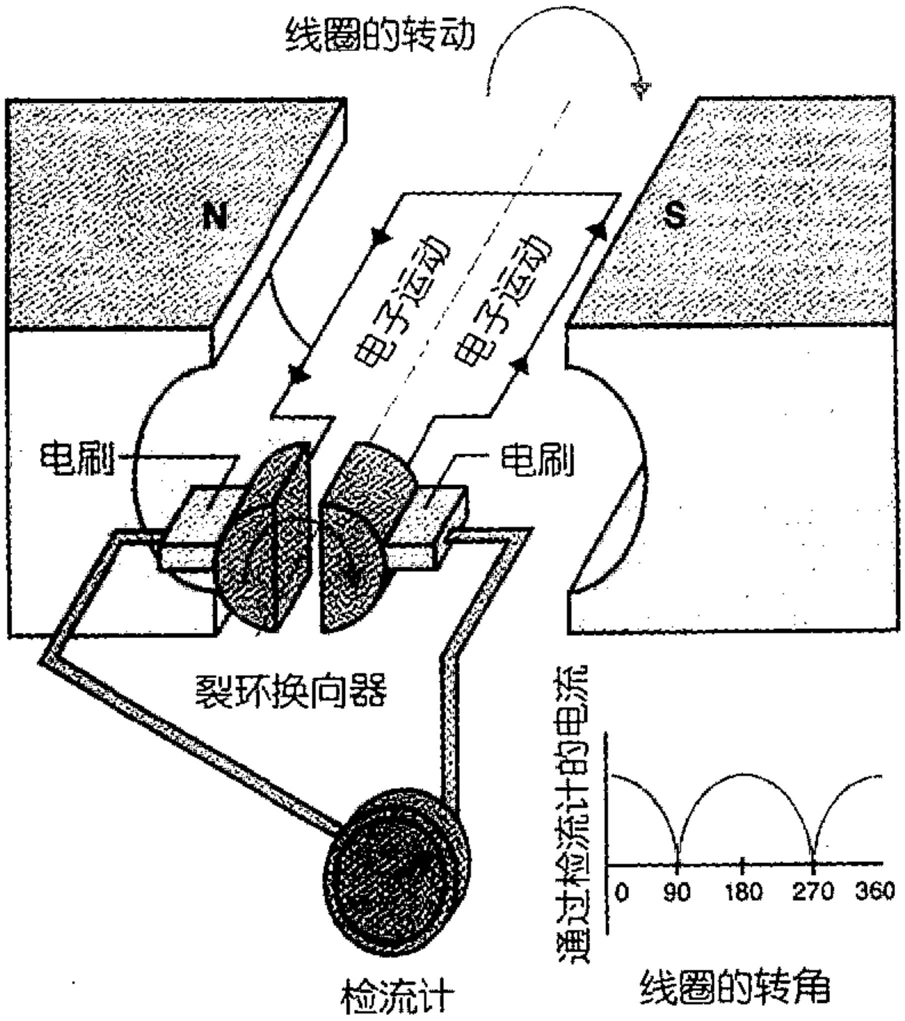
感应电动机中,有一旋转磁场围绕金属部件,使在金属内产生涡流。涡流产生的磁场与旋转磁场相互作用,如果金属部件合适地被枢轴所支承,就会旋转起来。这样就构成电动机。最小的这类电动机,其转子是用多个边上刻有凹槽的金属圆盘做成的,以便能恰当地安排涡流的流向。较大的可以应用鼠笼式转子。这是用金属条构成的圆柱形骨架。金属条的两端可以安接在圆盘上,或者将金属条安装在涂漆的铁圆柱体上并将端部连接。涡流通过金属条和端部的结点。

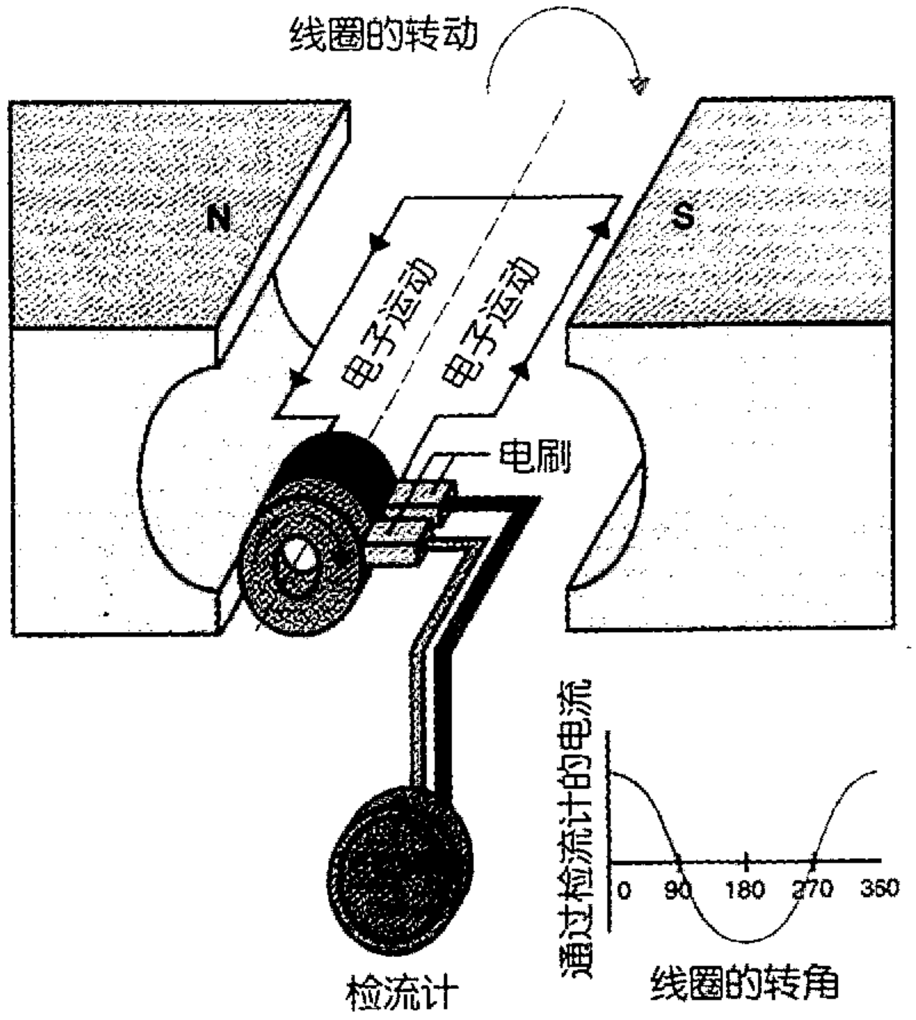
旋转磁场由两相或三相电流的励磁线圈提供。因为应用不同相数的电流,感应电动机就以不同相数来分类。电流的相数相当于相同电路内有不同的交流电(AC)。电流在每个流动方向达到最大值与最小值的时间是不同的。励磁线圈的排列使磁场轮流在沿着圆周各点达到最大值。这样就构成旋转磁场。

同步电动机像一个有转子、定子可逆向运行的交流发

电机。多相交流电在定子上提供旋转磁场。其他电流(有时是直流)给转子一个磁场使随着定子磁场旋转。这样的电动机以恒速运行。

发电机 发电机是逆向运行的电动机。电动机将电能转换成机械能,而发电机是将机械能转换成电能。表面看来发电机图与电动机图是相同的。都有一个线圈在磁场内旋转。电动机是将电能送入线圈内,使线圈旋转,而发电机则是使线圈旋转,在线圈内产生电流。在180°的旋转中,电子流动使在线圈内产生一个方向的电流;而在下一个180°旋转中,电子流动的方向相反。当电流离开线圈到外电路,电流将看成是先向一个方向,然后又向另一个方向。这就是交流电。如果要发电机发出直流电,那就必须在送出电流到外电路的点上使用裂环换向器。在线圈内的电流仍是交流的,而在外电路则是直流的。



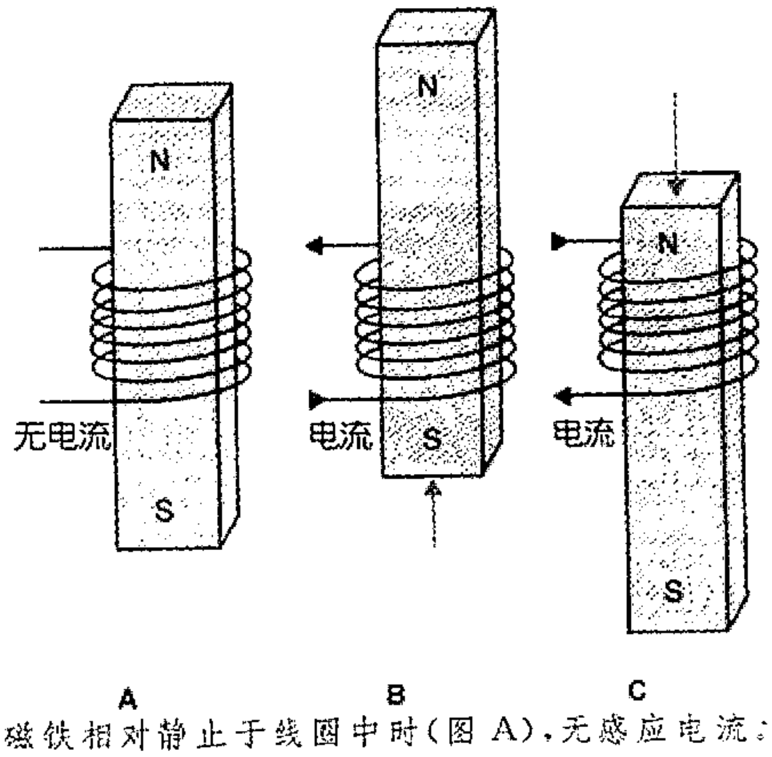


在直流发电机(左图)的线圈中的电流是交变的——即电流不断改变方向——但在外电路循一个方向流动,线圈每转动一周,电流两次降到零。安排更多线圈,可以产生较为稳定的直流电。在交流发电机(右图)中,线圈和外电路中的电流都是交变的。

电磁感应 英国科学家法拉第与美国的J. 亨利分别在1831年指出:移动的磁铁经过线圈会在线圈内产生电流。如将磁铁插入线圈,会产生一种方向的电流。如果把磁铁从线圈内退出来,电流方向就相反。这种现象称为电磁感应,这就是发电机运行的基本原理。只要是磁铁与线圈在相对运动,就会在线圈两端产生电势差,如果线圈两端相连接就有电流流过线圈。如果穿过线圈的磁场有强弱变化也能产生电势差。穿过线圈的磁通量的变化速率越快,产生的电势差也越大。其关键是穿过线圈的磁场必须有变化。

麦克斯韦在1864年提出:(1)如果电场随时间变化,在垂直角方向上感应出随电场而变化的磁场。电场变化的速率越快,感应出的磁场越强。(2)如果磁场随时间变化,在垂直方向上感应出随磁场变化的电场。磁场变化的速率越快,感应出的电场也越强。

麦克斯韦计算出电场与磁场能同时传播,并作为随时间变化的波发射到空间。这些电磁波的速度为3×10^8米/秒,



当磁铁相对静止于线圈中时(图A),无感应电流;当磁铁通过线圈上推时(图B),感生了电流。当磁铁下落通过线圈时(图C),感生了方向相反的电流。

与光速相同。事实上可见光仅是电磁波谱中频率范围的很窄的一段。当人们阅读印就的书页，电磁波从书页反射到眼中。当这些波的电场到达视网膜，视网膜分子中的电子与场互相作用，变动位置，并将信息送到脑中，最后使人理解到所读内容。

楞次定律 当变化的磁场在线圈内产生电流的时候，所产生的电流也产生磁场。所感应的磁场总是倾向于反对经过线圈的磁通量的原来的变化。这个定则是 1834 年德国的楞茨首先提出的。这个感应场的效应能在手摇发电机工作时观察到。当发电机慢摇时，产生的电流小，抵抗旋转的电磁场就弱。但当快摇时，产生的电流大，在摇把上的力变强，转动摇把就相应地费力。

楞茨定律也应用到电动机中。那里载流导线在磁场内运动。而那运动又在导线内产生与原来电流方向相反的电流。因为没有电动势就不能产生电流，这个反效应有时称为反电动势。当电动机起动时，首先有大电流通过，当电动机开始快速转起来，感应出大的反电动势，使电动机的电流降落。如果突然将一个大负荷加到电动机上，转速相应突降，反电动势也减小，相应地电流会突然增加，可能导致过热烧毁电动机。

即使在直流电路内的简单线圈也呈现反电动势现象。当线圈中的电流增加时，环绕线圈产生的磁场变化将产生反电动势，这称为自感。正常情况下开关接通后，电路内电流很快地上升。但在有线圈的电路内，电流上升得相对地慢。相反地，当开关拉开，正常情况下电流几乎是瞬时降到零的，但当环绕线圈的磁场衰减时，产生一个反电动势以抑制电流的快速衰减。这样的线圈可以用来设计防止电子设备受电压尖峰冲击而损坏的装置。电压尖峰指的是电压突然增加，它将产生快速变化的电流。

输电

发电机本身不能产生能量。其线圈或磁铁的两者之一必须相对于另一个旋转。这个旋转用的能量可以从不同的能源来提供。有些是将水转换成蒸汽，用来驱动汽轮机，而使发电机运行。将水沸腾为蒸汽的能源来自煤、油或天然气的燃烧，或来自核反应堆释放的热能。也可以由水电站水坝储存水的势能，或是风车的风，或是地热产生的水蒸气驱动。

在美国，电力是以交流电形式送到各家的。例如接通白炽灯，电子在灯丝内以每秒 50 或 60 次往复振动，并与电站发电机的交流频率相对应。在灯丝内运动的电子并不是发电机线圈内发出的电子。当把电灯开关接通，灯差不多即时点亮，这是因为由发电机线圈产生的电场变化以接近光的速度沿线路传播。当电场行经导体时，导体内的电子与电场互相作用。但是电子不能不受阻碍地运动得很远，因为它们都撞到了导体内的振动的原子。因此电子本身不能以接近光速在导体内飞行，也不能按着多米诺效应（一个推倒一个）运动，而是电场携带的电能推动电路内的电子。

从电出口输出的是能量而不是电荷。在灯泡里流动的电子是原来已在灯泡内的。电力公司售给用户的不是电子而是电能。付给电力公司的电费是以千瓦小时计价的。千瓦是功率的单位，也即是每单位时间内消耗的电能。功率乘以时间即为能量：

$$\text{功率}\times\text{时间}=\frac{\text{能量}}{\text{时间}}\times\text{时间}=\text{能量}$$

故千瓦小时是能量的单位。

电力公司总想以最高效率输送电力。这就需要在电力从电站送到家庭、学校、工厂的过程中，由于输电线发热而引起的损耗降为最小。用瓦表示的功率与用伏表示的电压、用安表示的电流之间的关系为：

$$\text{功率}=\text{电压}\times\text{电流}$$

在输电线中，由于欧姆定律，用电阻×电流取代电压，得出：

$$\text{功率}=\text{电阻}\times\text{电流}^2$$

在考虑输电损耗时，这个公式是重要的。减小输电线电阻是有利的。超导实验的结果可能在日后生产出低电阻输电线。当材料成为超导时，由于电子配合成对而不碰撞，所有电阻都不存在，输送电流也就不损失功率。只有某些导体冷到接近 -273℃ 即绝对零度时，才能成为超导体。由于冷却费用昂贵，这样的超导体还不能进入商业应用。20 世纪 80 年代已发现新型高温超导材料。在正常功率输电情况下，电流对功率损耗甚为敏感。电流加倍意味着四倍的功率损耗。而如果电流过小，对烤箱之类的设备不能提供充分的动力。从送电观点看希望电流大，而从输电效率看又希望电流小。这个问题可以采用变压器来解决。

一个简单变压器内，其中有一个线圈是由电压源如发电机供电的。它缠绕在铁芯架的一侧，称为一次线圈。在铁芯架的另一侧缠绕着另一个线圈，称为二次线圈。它把电供给另外的电路。当从发电机过来的交流电流入一次线圈时，在这线圈的磁场也像交流电的变化那样，加强、减弱，然后改变方向。铁芯强化了磁场的变化。当在二次线圈内的磁场随时间变化时，促使二次线圈中的电荷运动并产生电流。在二次线圈内产生的交流电压取决于二次线圈与一次线圈的匝数比。设 V_1 是一次线圈的电压，V_2 是二次线圈的电压。N_1 是一次线圈的匝数，N_2 是二次线圈的匝数。则：

$$\frac{V_1}{V_2}=\frac{N_1}{N_2}$$

举例说，二次线圈的匝数为一次线圈的 100 倍，则二次线圈的电压也为一次线圈的 100 倍。这样的变压器称为升压变压器。如果二次线圈的匝数比一次的少，就是降压变压器。

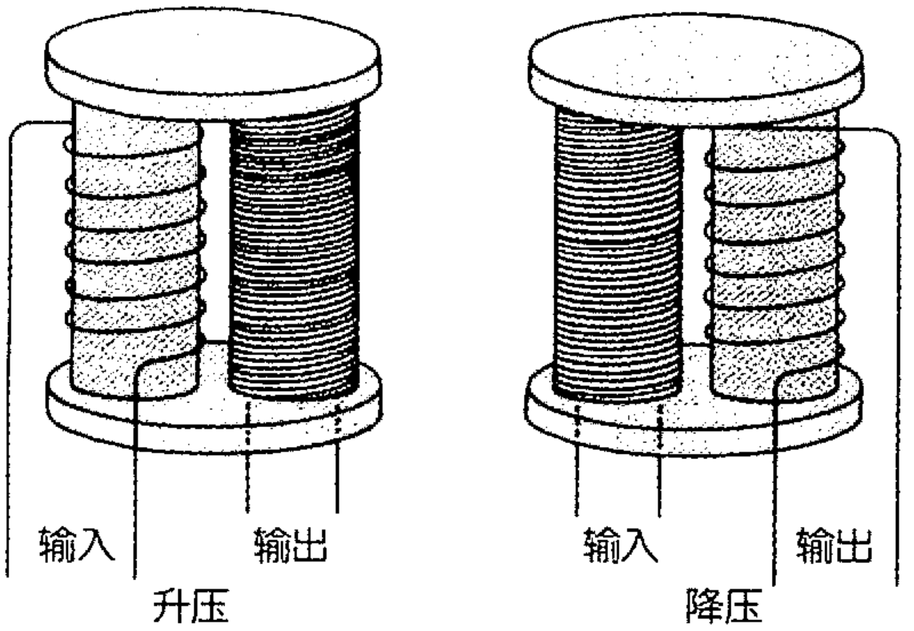
看上去似乎升压变压器给出的能量比它所用的更多；毕竟较高的二次电压意味着场内每个运动电荷有较大的能量变化。其实不然，升高电压是以降低电流换来的。设若变压器的效率为 100%，则：

$$\text{功率}_{\text{一次}}=\text{功率}_{\text{二次}}$$

如 I_1 与 I_2 是一次线圈与二次线圈的电流，则：

$$V_1I_1=V_2I_2$$

故增加二次线圈的电压 100 倍，导致电流降低为一次电流的 $\frac{1}{100}$。



升压变压器在输电之前升高电压。降压变压器在送电给用户之前降低电压。

在发电机与输电线之间应用升压变压器以降低电流，因此可降低输电线因发热引起的损耗。输电线的电压要相应提高，而在输电线与用户之间要用降压变压器，使电压降低与电流增加到电气设备可有效应用的水平。

电解

在以电池为电源的电路内，电流是由电池两端发生的自动的化学变化产生的。在每个电池内，所贮存的化学能转变成电能。

在电解中，过程正相反。把电能通入某些物质，有可能把电能变为贮存的化学能。电解过程产生的化学反应并不是自动发生的。例如将普通食盐或氯化钠加热至808℃，固体变成稳定的含有钠离子（Na^+）与氯离子（Cl^-）的熔液。如果将电极埋在熔液中，并用足够高的电压使产生的电流通过熔态盐，在一个电极上产生钠金属而在另一个电极上产生氯气。用类似的电解方法可以从氧化铝溶液中得到纯铝。

电解对镀银甚为重要。在镀银过程中，电流通过埋在适当的银化合物溶液中的被镀物体。如果有足够的电压，银离子（Ag^+）将接受从被镀物体上来的电子。离子因此变成原子（Ag）而镀在表面上。类似方法也用来镀铜、铬及金。（见：**化学；电化学**）

历史

关于电的最早的观测记载可以追溯到大约公元前600年。米利都的希腊哲学家泰勒斯发现经过摩擦的琥珀（一种树脂化石）能吸取羽毛或稻草碎屑。公元70年罗马作家老普里尼在他的著作《自然史》中记载着相似的试验。他还说起曾受到电鳐鱼的震击。1600年英国科学家W.吉伯，他是女王伊丽莎白一世的医生，在他的著作《论磁》一书中阐述关于琥珀及天然磁石（能吸铁的矿石）的知识，并证明琥珀呈现的吸力不是磁力。还提出地球本身是一球形天然磁石。1672年德国物理学家盖利克报道他发明的电机：即在旋转轴上的硫黄球，若用手接触这硫黄球就会产生火花。他还证实带电物体能把一部分称为电荷的吸引能力传递到不带电的物体上。约在1736年法国化学家迪费注意到摩擦玻璃与摩擦松香类物质产生的电荷好像是不同类型的。他发现同一类型的电荷互相排斥而不同类型的互相吸引。他认为电是由两种“不可见流体”组成的，并命名为“玻璃电”与“松香电”，即正电与负电。

约在1745年德国传教士E.G.克莱斯特与莱顿大学教授P.穆申布鲁克各自独立发现一个装满水的玻璃容器能储存用摩擦方法得到的电荷以应后用，称为莱顿瓶。英国的W.沃森爵士与J.贝维斯博士改进了莱顿瓶，即把瓶的里外层都覆以锡箔。这容器储存的电荷足以使火药爆炸或点燃酒精。沃森最重要的发现是电可沿着电线传送约3.2公里，且几乎是瞬时的。1746年他指出电只是单流体，以该流体的超额和不足解释早些时候迪费建议的正负二种电。

因发明避雷针而闻名的美国政治家与发明家B.富兰克林，是沃森单流体模型的支持者。显然，富兰克林能获得那么大的声望，是因为他广泛利用了沃森的模型。然而一直到19世纪90年代，对什么是电有了明确的理解，才明白迪费与沃森在某些方面都是正确的。

1753年英国人J.坎顿发现静电感应，另一位英国人H.卡文迪什发现电吸引力与电荷间距离的平方成反比。但他并没有发表他的发现，故这定律以库仑命名，因他也发现这个关系。

产生稳定电流的发明对电学的研究有巨大帮助。1780年意大利解剖学家L.伽伐尼注意到挂在铁钩上的死青蛙腿与不同金属接触时会抽搐。他想这是由于有一种“动物电”引起的。而另一位意大利物理教授C.A.伏打设想是由于化学原因引起的。他堆叠不同金属，安放在用酸或碱溶液沾湿的垫料间，此堆能产生稳定电流：伏打发明了电池。1807年英国的H.戴维爵士用大功率电池中的电流从熔融的氢氧化钠与氢氧化钾中获得纯钠与钾。法国人S.-D.泊松、J.-L.拉格朗日、A.-M.安培、D.阿拉戈以及英国人G.格林制订出许多电动力学的基本定律。1826年德国物理学家G.S.欧姆宣布发现了电路内电压、电流与电阻的关系。

随着英国人W.斯特金发明电磁铁以后，1820年丹麦物理学家奥斯特发现电流能使磁针偏转。在美国J.亨利改进这些措施并有其他发现。遗憾的是他与欧洲科学家缺少联系，以致他的发现多年鲜为人知。

1821年英国化学家M.法拉第（他没有经过数学或科学的正规训练）考察了以往电磁学的实验与原理。他从重复奥斯特的试验开始，然后发展自己的思想，用力线来描绘电场与磁场。到1831年他发现电磁感应原理，作为电动机与发电机的工作基础。1873年苏格兰物理学家J.C.麦克斯韦发表著名的数学分析，预言任何电或磁场的变化将会产生以光速在空间传播的电磁波。1888年德国的H.赫兹创制出这个预言的波并证实麦克斯韦所算出的速度。1901年俄罗斯的列别捷夫证实了麦克斯韦所预言的辐射压强。

1897年英国人J.J.汤姆森爵士发现在高电压下气体放电管的阴极能发射出带负电荷的粒子。这些粒子就是电子。科学家们确信导体内的电流是由电子从负端到正端形成的。1907年至1911年间在加拿大工作的新西兰人E.卢

瑟福德发现原子的正电荷集中在不可思议的微小空间原子核——它大约只占整个原子体积的$\frac{1}{10^{12}}$。

1909年美国的R.密立根测定电荷的基本单位为1.6×10^{-19}库(仑)。他断定这就是每一个质子与电子所带的电荷。

汤姆森在电子方面的发现在美国成为新发现与进展的工作基础。在电子学方面奇迹般的进展是从1907年开始的。L.德福雷斯特将J.A.弗莱明的二极管发展成三极管以提供所需的技术仪器。C.P.施泰因梅茨主要利用数学研究开创高压输电技术。N.特斯拉在感应电动机方面做了大量同样的工作。实用发明家如爱迪生与A.G.贝尔将电磁原理应用到多种器件上。

1925年奥地利物理学家E.薛定谔结合了N.玻尔、L.德布罗意、M.普朗克与W.海森伯的理论工作,开创量子力学。此理论是把电子与质子看成像波一样的粒子,它只能存在于某些允许的能量状态。它的位置和动量可以用概率而不是确定定性来叙述。

自1965年来,当美国物理学家盖耳-曼首次提出质子与中子实际上是由夸克组成的。物理学家已经作了高能量粒子碰撞的探索来证实他们的量子色动力学理论(见:夸克)。这些理论已经指出将一度认为性质不同的三种力——电磁力、核强力、核弱力——使人信服地统一。此项工作将提供把这些力与重力结合成单一的统一原理的前景。这个理论将考虑到所有物理现象。

撰文:Robert Applebaum

磁体和磁学 MAGNET AND MAGNETISM

在古代,人们就知道有一种特殊的岩石,能够吸引同种岩石和铁片。这种岩石被称为磁石。在现代,这种由古老磁石产生的同样的力被用来发电、在计算机中存储信息以及研究宇宙的奥秘。这种力叫做磁力。产生磁力的物体叫做磁体。在19世纪结束之前,人们已经知道,所有元素都具有一些磁的性质。

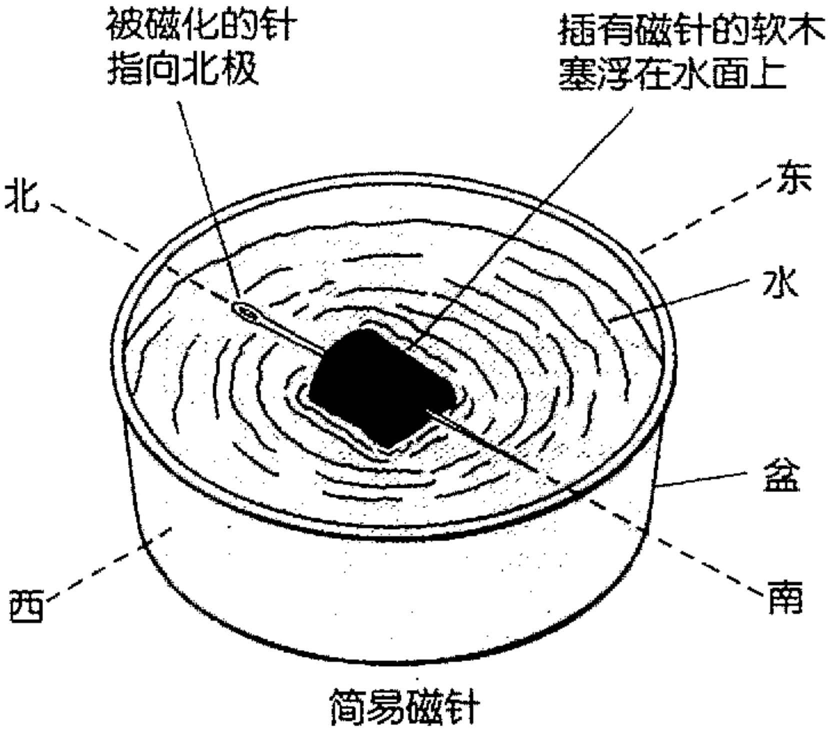
古人能够发现磁力是因为某些岩石和矿物天然具有磁性。不受周围环境的影响而保持其磁性的材料叫做硬磁体或永磁体。永磁体之间总是有磁力存在的。此外,永磁体对诸如铁之类的其他某些本身并不表现磁性的材料也产生作用力。

大多数材料,例如木材、铜、空气和水,看起来好像对永磁体都没有反应。实际上,所有材料,即使是被叫做非磁性材料的,也会对磁力有所反应。不过,大多数材料的磁性很弱,以致它们产生的力在日常生活中不被注意。

能被磁体吸引,但本身不是永磁体的材料叫做软磁体或暂时磁体。这使它们与木材之类的非磁性物质区分开来。软磁体能够被磁化。但只有在永磁体跟前,才能像磁体那样起作用。某些软磁体,例如铁,能够被制成硬磁体。一种方法是:将一块热的软磁体辗轧或锤打成针状,等它冷却后贴近一个硬磁体。

磁极

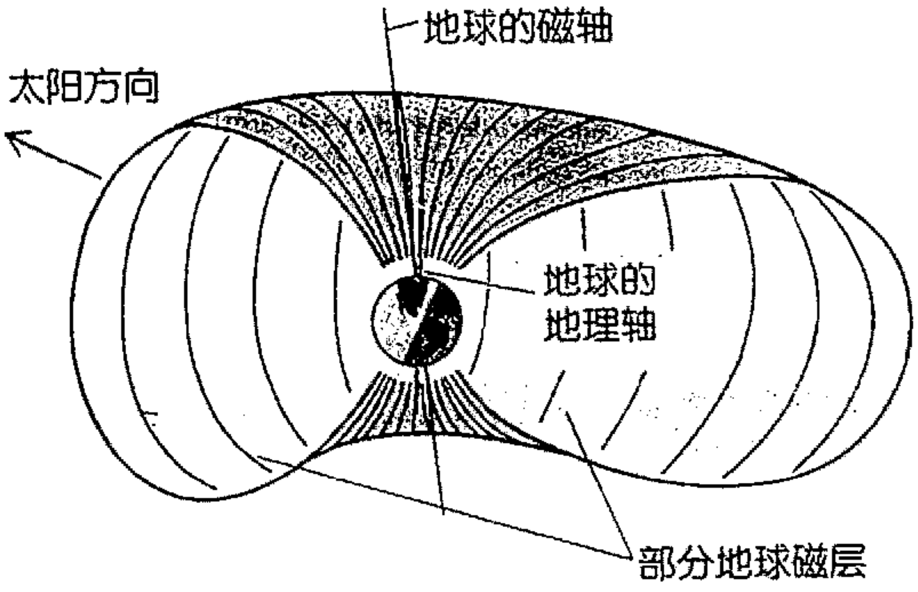
磁针有一个特殊性质,使它们与古代世界最发达的科学——天文学联系起来。如果将磁针插进中空的芦秆后放在水上,或将磁针自由地悬在细线或金属丝下,那么会看到它似乎总是指向一个与星星有关的固定方向。这个发现是指南针发展的基础。



一根被磁化的钢针插在一块漂浮的软木塞中成为磁针。使钢针在一个永磁体的一端按一个方向划大约20次,便可被磁化。

在许多世纪里,人们不明白为什么指南针总是指着南北方向。1600年英国科学家W.吉伯出版了一部不朽的著作。书中提出,地球本身是一个巨大的磁体,它对它表面的所有磁体施加作用力。

后来证实,地球的确是一个巨大的磁体,不过是个弱磁体。它的作用力足以调整磁针之类小永磁体的方向,却不足以对软磁体产生可以觉察的影响。地球的磁力在两点最强:一点接近地理北极,另一点接近地理南极。任何磁体都有一端是指北的极,另一端是指南的极。磁体指北的极通常叫做北极,指南的极叫做南极。简称N极和S极。

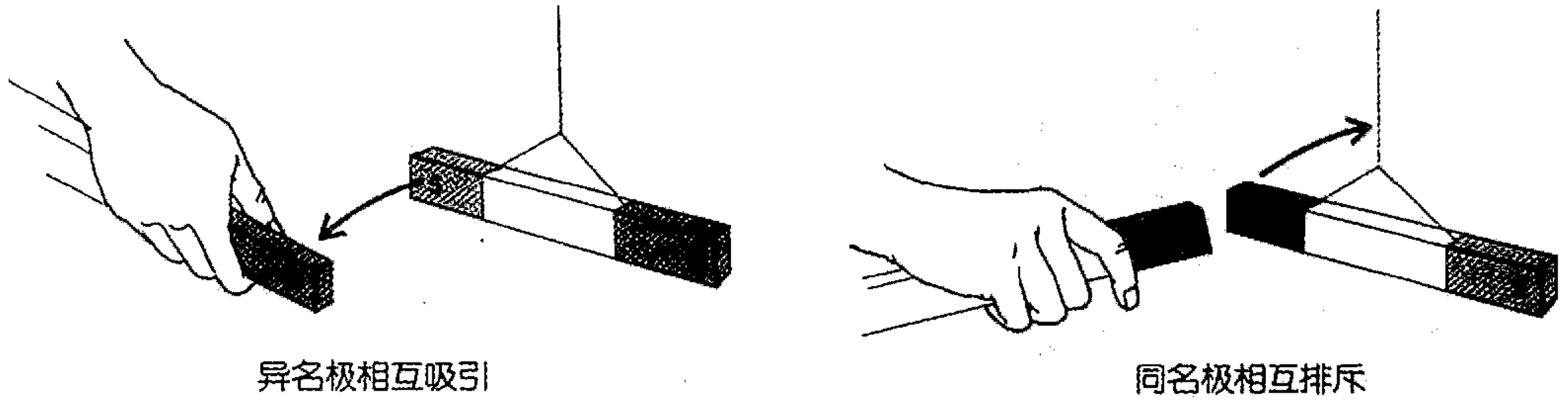


地球是一个巨大的磁体。它的磁北极和磁南极接近地理的两极。地球外部空间的磁场叫做磁层,太阳风使之变形。

如果一根长的条形磁体从中间截断，那么每一半都会变成一根完整的磁体，每一半都有一个北极和一个南极。所有磁体都有两个极，从未发现只有一个极的磁体，所以磁体被称为偶极子。

如果拿两个磁体彼此接近，就会感觉到一条磁学基本定律的作用：同名极（北极与北极或南极与南极）互相推斥，异名极（北极与南极）互相吸引。

如果拿一个永磁体接近一根软磁材料棒，



磁学的一条基本定律是异名极互相吸引，同名极互相推斥。用两个条形磁体可以演示这一点。将一个磁体悬挂起来，使它可以自由转动。拿另一个磁体的一极依次接近悬挂磁体的两个极。悬挂磁体的一个极被吸引，另一个极被推斥。

例如软铁棒，那么软铁棒的端头便会因感应而成为磁极。如果用指北的极接近软磁铁棒的一端，铁棒的这一端便成为南极，而另一端成为北极。如果调转永磁体，使它的南极接近铁棒先前的那一端，铁棒的那一端便成为北极，另一端则成为南极。如果永磁体被拿开，软铁将恢复它原先的未磁化的状态。

磁场

一个磁体可以在不触及其他磁体或软铁片的情况下吸引或推斥它们。磁力即使被真空、空气或纸板之类非磁性材料隔开，也仍能发挥作用。此外，两个磁体即使彼此放置成一个角度，它们之间也仍然有力作用。科学家解释说，磁体周围空间存在着磁场。他们能够通过观察磁体周围许多点上的磁力方向将磁场测绘出来。

例如，可将一个小磁针放到接近长条形磁体的不同位置。因为磁针可以自由转动，它将对准每个位置的磁场方向。通过观察磁针的指向，任何位置的磁场方向都可以确定。

使磁针一直沿着它所指的方向短步移动。每次移动后，给磁针的位置做个记号。如果用线将这些记号连起来，可以看到，这些线始于一个极，绕行到另一个极。这些线被叫做磁场的力线或磁通线。力线同样存在于磁体内部；它们也从一个极到另一个极。

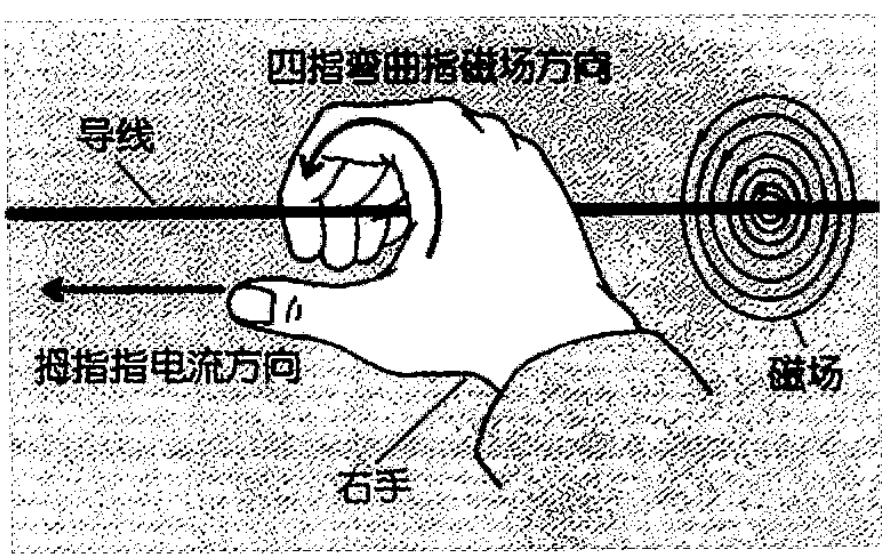
人们也可以采用往覆盖着平放的条形磁体的硬纸板上洒细铁屑的办法来观察磁场。如果在轻轻弹击纸板的同时洒下铁屑，铁屑会在周围跳动并使自己沿着磁力线排列起来。线稠密的地方磁场强，线稀疏的地方磁场弱。线和铁屑在磁体的两极最密集，那里磁场最强。

磁场的形状能够随着磁体形状的改变而改变。如果一根长条形磁体被弯成马蹄形，两个磁极靠得很近，磁力线将大部分集中在马蹄形的两个端部之间。因为磁力线最密集的地方磁场最强，所以就在马蹄形两端之间形成一个高度集中的磁场。磁体也可以做成其他形状，形成其他样式的磁场。

磁和电

像电力和重力一样，磁力也是一种基本力。磁力和电力密切相关，被看做是一种单一的力——电磁力的两种表现形式。有关这种关系的第一个证据是1820年丹麦物理学家H. 奥斯特观察到的。按南北方向拉一根能够通过电流的金属线。靠近电线处放一个磁针。在通电之前，磁针指着南北方向，与电线平行。当电流流过电线时，磁针偏转，指向与电线成直角的方向。当电流方向改变时，磁针旋转，指向相反方向，仍与电线成直角。

电流对附近的磁体能有这样的影响，是因为形成电流的移动电荷产生一个环绕导线的磁场。这个磁场的方向用右手定则表示：如果右手拇指指着由正端到负端的电流方向，那么右手四指按磁场的方向弯绕。



右手定则

当右手拇指指着电流方向时，四指弯曲，指着磁场的方向。

奥斯特的发现导致一种猜测：如果一个外部磁场施加于通电导线，那么外加磁场也许会与电流产生的磁场互相作用，这种作用会使导线运动。法拉第成功地证明：外加磁场能够使通电导线转动，如果导线被固定不动，那么外部磁体本身将会转动。

另一个有关磁与电相互关系的证据是1831年提供的。当时法拉第将一个磁体移近导线，产生了电流。这表明，如果磁体相对于导线运动可以产生电流。

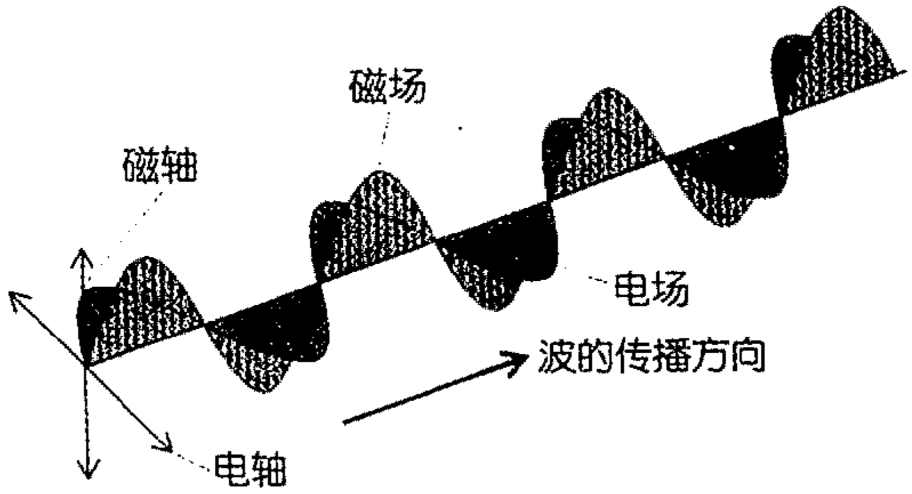
可以概括出如下三种现象：①运动电荷产生磁场；②磁场对运动电荷施加作用力；③存在自由电荷的情况下改变磁场会产生电流。任何电磁理论都不能不说明这些相互作用的原因。

法拉第还发展了磁场的直观模型。他的理论含有这种意思：移动磁体或电荷，扰动了围绕磁体或电荷的力线，这种扰动以一定的速度在空间传播。

1864年麦克斯韦发表了一个描述运动的电荷或运动的磁力线产生的扰动如何传播的数学理论。麦克斯韦宣告，这种扰动能以波动的形式传播，速度是 3×10^8 米/秒——这是实验测定的光速。

他断定，光是一种电磁波（见：**光；辐射；能量**），按照电磁辐射（包括光）波结构的概念，这种波由彼此成直角的电场与磁场的增强、减弱所构成。

奥斯特的最初发现是通过导线的电流会在导线周围形成磁场，增大电流能使磁场增强。磁场也可以用把导线绕成圈的办法增强。力线环绕导线的每一小段。在这些力线环重叠的地方就形成较强的磁场。如果导线被绕成空心的线圈，其中一系列的环首尾相接（这可用在笔状物上绕线的办法做到），线圈内部的磁场将等于其中所有环的磁场的总和。这种形式的磁体叫做螺线管。

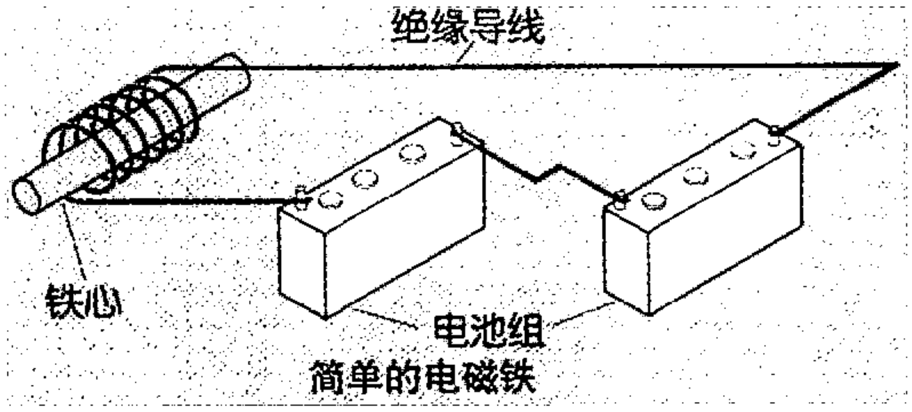


相互垂直的时强时弱的电场和磁场构成电磁波。

螺线管磁体具有一系列胜过永磁体的优点。它可开可关。磁场强度可以通过增大或减小线圈中的电流而改变。事实上，螺线管中心的磁场与电流大小成正比。

在螺线管中插一根可磁化的软铁棒能够使磁场增强。螺线管的磁场使棒感生磁性。螺线管外的总磁场是螺线管磁场与软铁中感生磁场的和。被磁化的铁棒的磁场可以比单独的螺线管的磁场强得多。螺线管与磁棒的这种组合体叫做电磁体。

增大螺线管中的电流，会增强磁棒中的感生磁场，但只能增强到某个定值为止。这个值叫做磁饱和值。电磁体的强度取决于磁棒的磁饱和值。



这里显示的是电磁铁的构成，包括电源（电池组）、绝缘导线和铁心（铁钉或铁棒）。使用较多电池时电流和磁场较强。

虽然只有很少的能被磁场明显吸引的材料叫做磁性材料，但所有物质，包括“非磁性”物质，都具有磁的性质。这是因为，所有物质都由运动的带电粒子——电子和质子组成，这些粒子的运动形成磁场。

大多数非磁性物质是抗磁性的，或者说受磁场很弱的推斥。其他非磁性物质受磁场的弱吸引，这种反应叫做顺磁性。顺磁性通常比抗磁性稍强。当铁、钴、镍被放人磁场时，会强烈地，或者说明显地被吸引。这种性质叫做铁磁性。

要了解为什么不同的物质对磁场的作用反应不同，那就必须了解组成每一种物质的原子和分子。按照现代原子理论，原子由重的、密实的、带正电的称为原子核的核心和轻的、带负电的、环绕核心运动的电子组成。每个电子都产生一个磁场。

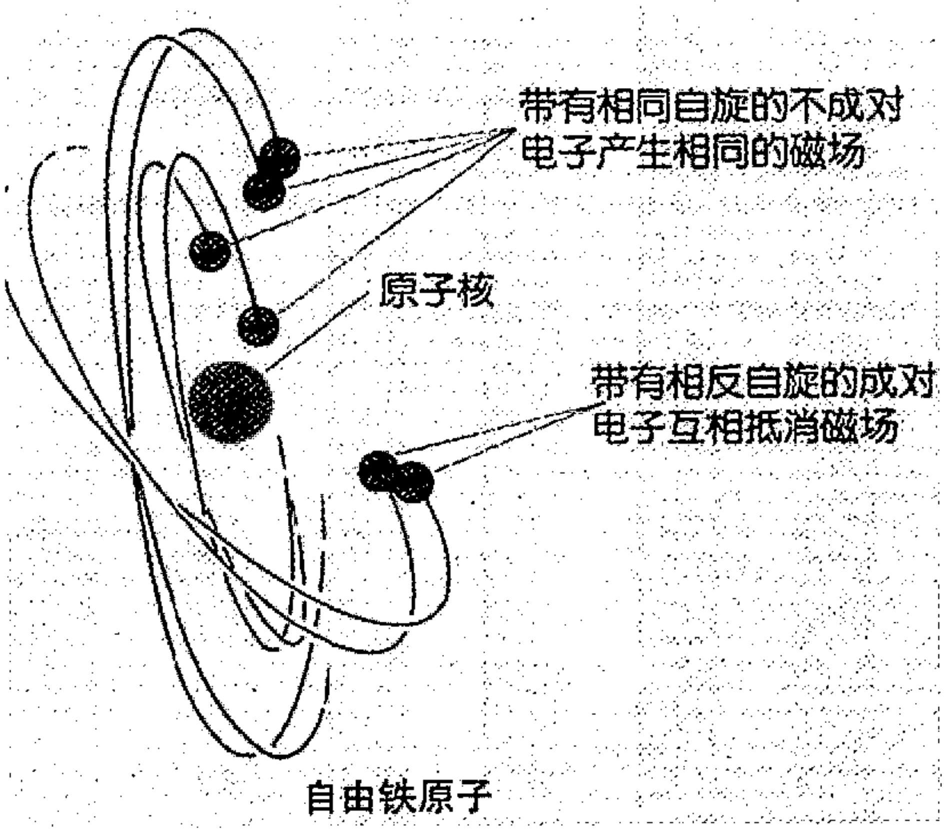
通常原子中的电子配成这样的对，使得一个电子的磁场与另一个电子的磁场相抵消。类似的结构也存在于分子中。原子以共用电子的方式化合成分子。键中的电子通常成对，因而它们的磁场互相抵消。由只含成对电子的原子和分子组成的物质是抗磁性的。抗磁性物质的电子为了对抗外加磁场，在单个原子或分子内部建立微弱的相反的磁场。在某种意义上说，所有物质，包括磁性物质，都是抗磁的。当外部磁场加于任一种物质时，电子的反应至少有一部分是抵抗外加场的。

有些物质是由有奇数个电子的原子或分子组成的。这意味着每个分子至少含有一个不成对的电子。这种材料通常是顺磁性的。

顺磁性通常很微弱，在日常生活中观察不到，但它的强度对于补偿存在于顺磁材料中的抗磁性来说是绰绰有余的。抗磁、顺磁两种现象都依赖于一个外加磁场的存在。如果外加磁场被去掉，那么磁场和相联系的电子也复归原状，并彼此抵消。

一个原子可能在某一种化合物中是顺磁性的，而在另一种化合物中是抗磁性的。这是因为电子在不同种类的分子中有不同的运动状态。例如，含在氧气（O_2）和氧化二氮（N_2O）中的氧是顺磁性的，因为在这些分子中有些氧电子是不成对的。但在水（H_2O）中，在氧原子内的电子都成对，因而水是抗磁性的。

铁、钴、镍一类元素及其许多化合物是铁磁性的。这些元素含有许多不成对的电子。这样的电子在原子中按同一个方向旋转，这就意味着它们的磁场指着相同的方向。这种原子的总磁场的强度足以影响周围的原子。例如，在铁原子中有4个电子是不成对的。这4个电子排列起来形成一个强原子磁体。在这个原子磁体的影响下，邻近的原子磁体也在相同的方向上排列起来。所有排列一致的原子的磁场又合成一个更强的磁场。当整块铁中不成对电子的自旋都指向同一个方向时，这块铁就成了一块磁铁。



注意：这里只画出了导致磁化的第三层的6个电子。铁原子的另外20个电子是成对的，带有相反的自旋，因而它对磁性的影响互相抵消。

那么，为什么大部分铁块不是永磁体呢？原因在于，铁块中不成对的电子的自旋通常并不都排列在相同的方向上。被叫做磁畴的一些小区域，其磁化的方向各不相同。一个磁畴内的全部原子形成磁畴的磁场，但相邻的磁畴带有指向其他方向的磁场，它们互相抵消。

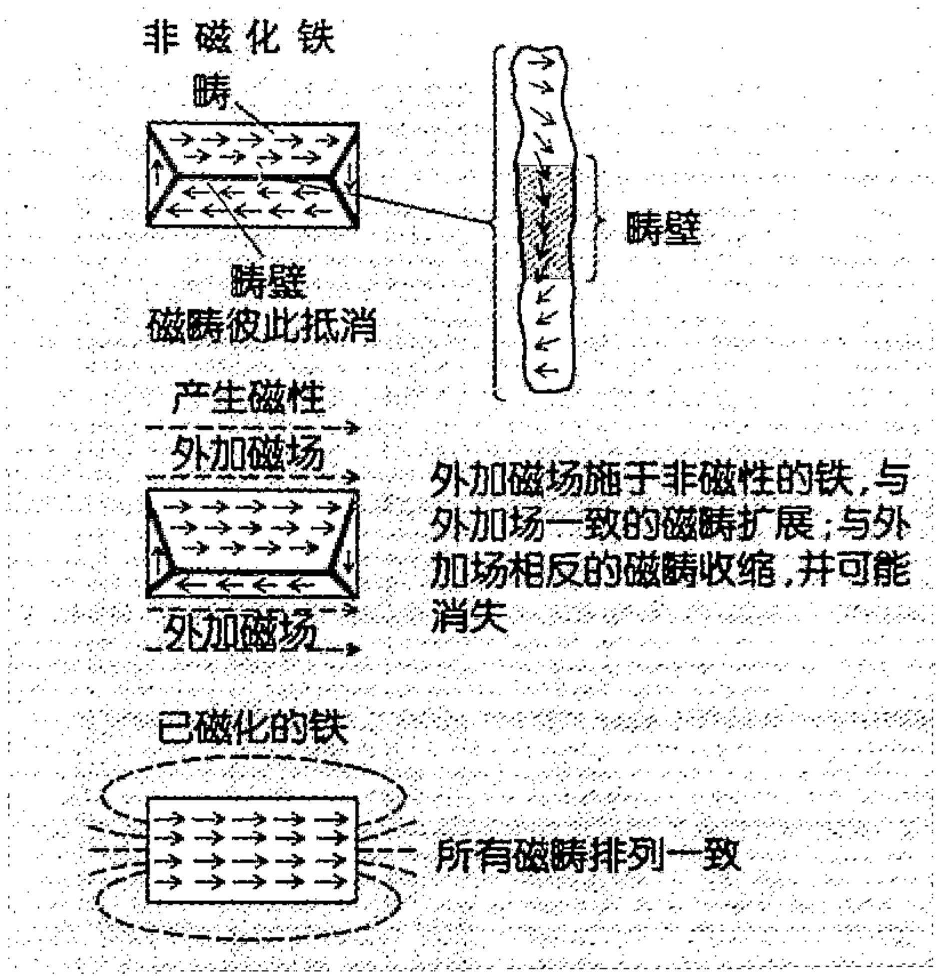
当一个外加磁场作用到这样的铁块上时，顺着外加磁场方向的磁畴体积变大。沿着这些磁畴边界的原子进行扭转，直到成为这个磁畴的一部分。如果铁块中的全部原子都排列到一个指向外加磁场的磁畴中，那么这块铁就被磁化了。

外加磁场撤掉以后，磁畴重新形成。这块铁将失掉大部分磁性。为此，铁被叫做软磁体。

在硬磁体中，材料的内力阻止外加磁场撤掉后磁畴的重新形成。在永磁体中，在一个单一的磁畴中自旋保持不变，除非有某种外力，例如加热或猛烈打击使它们偏离。有一些铁合金具有使其成为很强的永磁体的内部结构。

这类合金的一种叫阿尔尼克，是铁、铝、钴和镍的合金，被用在磁性门扣和其他扣件中。而铂钴合金和钐钴合金是磁性更强的永磁体。

并非所有磁体都只由金属构成。例如，轻陶瓷——铁氧体——被用于计算机存储，因为它们的磁性能够在不到百万分之一秒的时间里反转。录音磁带的磁性是由于磁带上的铁氧体薄层。



中性铁原子中的4个电子是不成对的，它们的磁场合成一个较强的原子磁场。铁棒的小区域中的原子排列整齐形成磁畴。在未被磁化的铁中，磁畴是无规律排列的。

磁体的应用

磁体的一般应用以简单的磁性吸引或推斥为基础，如冰箱门的磁性密封条。大型电磁体被用来成堆装运废钢和分拣磁性矿石。较小的电磁体用在继电器、开关和电阀门中。

磁场能在发电机、电动机、变压器中感生电流，并能使带电粒子束偏转。在电视显像管中，电子部分地受磁场控制，部分地受电场控制，以便使它们射到电视屏幕上，再现电视台播出的图像。

在原子物理学中，与原子联系在一起的磁性被当做有关物质内部结构的线索进行研究。20世纪80年代中期，分析一种新型超导材料的科学家估计，那种材料可用来制成磁感应强度80－300特斯拉的磁体，比当时用在粒子加速器中的最大超导磁体强许多倍。

地质学家研究海底岩石的磁性方向。通过这种研究，他们得知地球周期性地反转它的磁性。

测量天体的磁性为研究天体的结构和演化提供线索。中子星在其表面具有极其强大的磁场。另一方面，与星系相联系的磁场则是很微弱的。在磁学领域内，科学家正在搜寻单个磁极的踪迹。所有已知的磁体都是偶极子。而在电学中，不管怎样，正电荷与负电荷是独立存在的。科学家们一直在尝试寻找称为磁单极的单个的、独立的北极或南极，在宇宙线中找，在磁矿石中找，还使用了粒子加速器，然而迄今一个也没有找到。

磁共振成像（MRI），也叫核磁共振（NMR），是一种给某些原子核（例如在人体特定器官发现的那些）以很强的静止磁场而后观察它们怎样有选择地吸收超高频无线电波的技术。因为通过测量人体水和脂肪中特定原子核的特征磁

反应，提供了一个无危险、无损伤地获取人体薄层可视图像的方法，到 20 世纪 80 年代初期，磁共振成像开始用于医学。它的图像在区分正常组织与有病的或受损伤的组织方面显示了很高的灵敏性。

到 20 世纪 80 年代晚期，磁共振成像证明了它在为脑、心脏、肝、肾、脾、胰、乳房及其他器官提供图像方面的优越性胜过大多数其他成像技术。随后，这种图像又能够显示肿瘤、缺血组织及人体的其他患病或受损伤状态。虽然这种技术对健康无任何危险，但它不能用于体内植有心脏起搏器或其他金属装置的患者。

撰文：D. Bruce Montgomery，
Richard B. Frankel 和 Brian B. Schwartz

辐射 RADIATION

温暖的阳光，医生诊所中的 X 光，吉他(六弦琴)发出的声音，都共具一物。它们都是辐射引起的。辐射就是能量自一处运动或传播到另一处。从人的眼光来看，有的辐射直接有用，有的则能提供有用的信息，另一些则是具有破坏性的。

辐射的三种形式

辐射可分为三大类，电磁、机械和粒子辐射。这种分类反映了人们对能量产生和传播方式的流行理解。电磁辐射常常是指光或辐射能。电磁波在真空中穿行和在空气中一样容易，并常常穿过像玻璃那样被视为是固体的物质。

日光就是常见的电磁辐射的例子。太阳发出的能量，几乎为地球上所有的生命以多种方式所利用。太阳对人类生活是如此至关紧要，致使不少文化——其中有埃及人、希腊人和印度人等的——将其敬之为神，而其他文化则视之为众神之赠品。人之所以有视觉，是因为有可见光从物体反射到眼睛里。太阳的热属红外辐射，沐浴着地球而产生各种气候，以维持许多地带的生命。紫外辐射对人的皮肤细胞起作用，产生维生素 D。

机械波或机械辐射需要物质作媒介，把能量从一处传到另一处。例如，由振动产生的声音不能在真空中传播，但可在气体、液体或固体中自由通行。

粒子辐射则由粒子的碰撞或融合，或一放射物(如钚)的天然分解蜕变(或裂变)所造成。在这种事件中，粒子——像氦核(α 射线)或电子(β 射线)那样的一些质点——则是真正地从一处射向另一处的。粒子辐射与电磁辐射相似之处是：两者均能在真空中穿行。但粒子形式的能量穿行物理介质时，就不像在真空中那么自由了；粒子不断地与其他粒子相碰撞，而在过程中往往会失掉其能量。

将电磁辐射按其频率大小顺序排成的系列，称为电磁波谱。从频率最低(波长最长)开始，一直到频率最高(波长最短)为止；电磁波谱细分为：无线电波、红外辐射、可见光、紫外辐射、X 射线和 γ 射线。

有多种探测器可用来对前文所说的三种辐射加以定位和研究。虽然有些电磁波谱能为人类看到或感觉到，可是我们的感觉，其实只能觉察出波谱中极短的一段，主要是可见光范围。大多数电磁辐射的探测器是接收天线或望远镜。例如，接收天线是用来探测无线电波和微波辐射的，望远镜则帮助我们探测其他的大部分电磁波谱。这些装置将辐射聚焦到一感光胶片或一些电子学探测器上，后者常连接到一计算机系统上。

由于机械辐射从根本上说是由振动产生的，所以这类辐射的探测器是能作振动之物，像鼓膜、话筒或传声器中的膜片之类。超声机械波是医学上的一有用工具。将声波传入人体后，研究人员就能探测出人体中生长的异常物，甚至能检查出：仍在子宫中的胎儿是否属于正常。超声还可用在声除尘器和声加湿器中。在地质学上用的装置则用以探测地震、火山活动或地下核试验，这些帮助科学家更多地了解地球内部的过程和监察世界各国所进行的核试验。

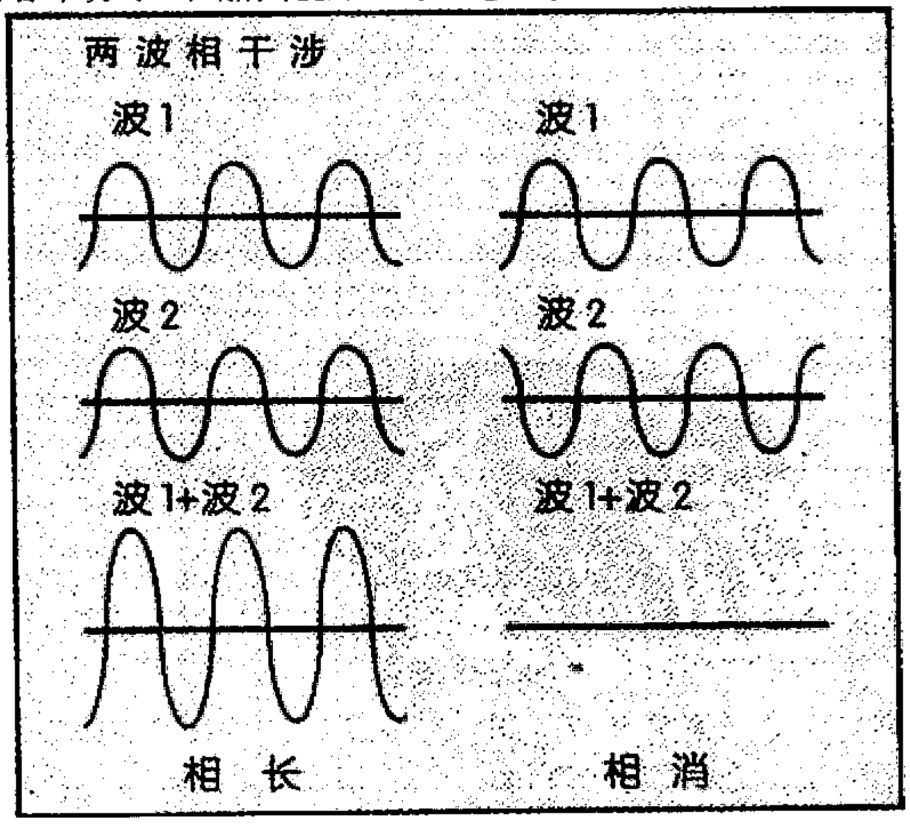
在粒子辐射中，射出粒子的速率，由每个粒子的质量和驱动该辐射的能量确定。为探测这些粒子，研究人员必须设计出能捕获或吸收粒子的方法，或者是当粒子穿过或经过探测器时能直接或间接地观察到它们的方法。粒子辐射在医学和工业上有不少的实际应用。引入身体中的放射性化合物，能帮助研究人员探测并处理某些肿瘤。

电磁辐射的本质与性能

虽然电磁波谱的不同部分同物质相作用时产生的效果很不相同，但它们在许多方面却是一样的。它们在真空中的传播速度，同样是每秒 299 792 456.2 米。由于这个速度原来是从测可见光而得出的，所以一般就称它为光速。对能量的运动，最好是靠波和粒子这两种模型来理解：电磁辐射或以脉冲(波)，或以能包(光子)的形式，从波源外传。

波和粒子的能量

与水池中央的玩具小游船产生的水波相比拟，有助于对以波动形式传递能量的理解。当波(能量)经过时，水(水的各个分子)和船则上下运动，这运动以一可测的速率沿一



若一波的波峰与波谷，与另一个的完全重叠，它们的每一效果都是加强的：波峰更高和波谷更低。如果一波的波峰与另一波的波谷相重叠，则各效果都是减弱的。

确定的方向传播。波的相邻的两波峰之间或两波谷之间，有一特定的长度(波长)，而波也有一定的高度(振幅)。在一可测的时间中，有一定数目的波掠过船(单位时间内的振动次数为频率)。一个完整的波称为(波的)一次循环。两组水波可相互交叠，产生干涉图样。能量的波型传递中，需有物质——此处是水——来传动能量。

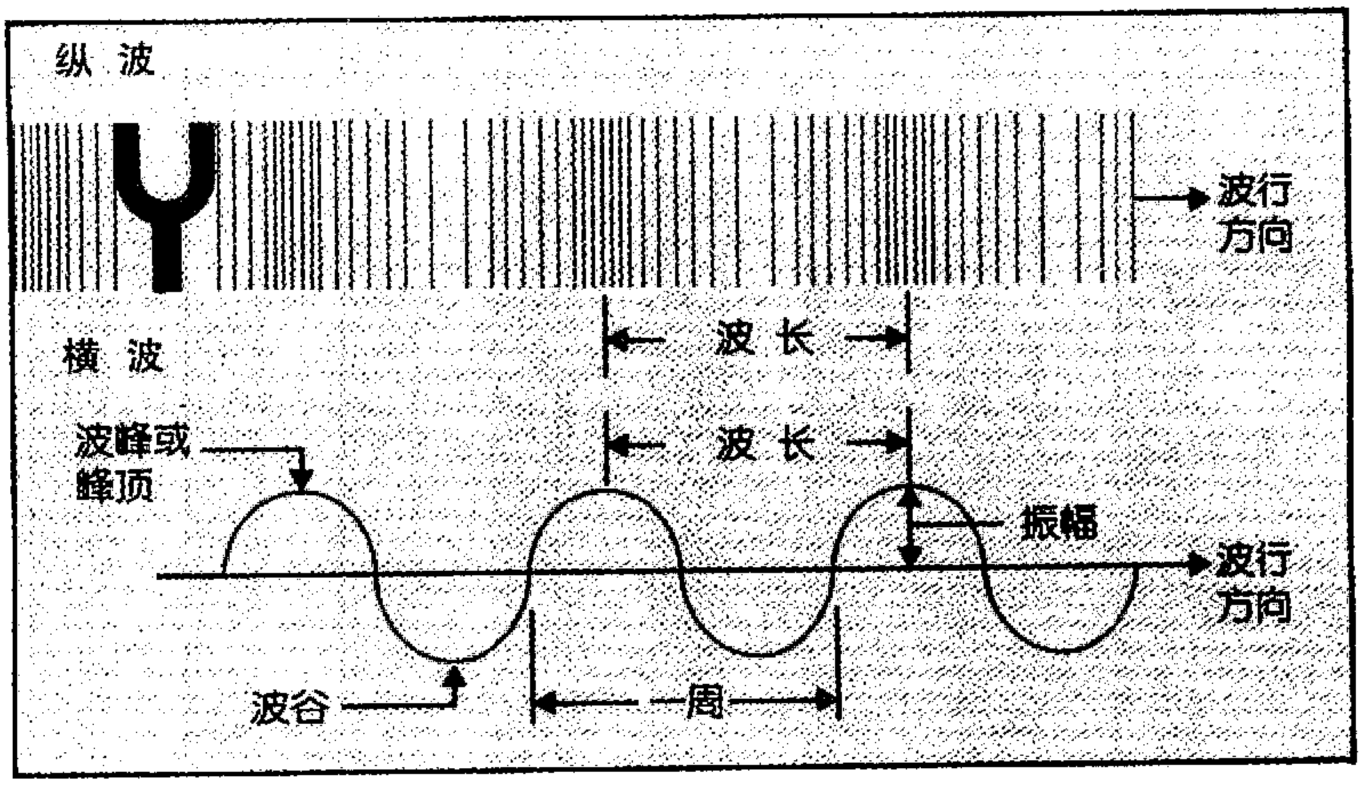
电磁辐射传递能量的方式与上述相似，但两者却有根本的区别。电磁波是由电场与磁场形成的。两种场可视为一个场在上下方向上变动，另一个则在前后方向上变动。在电磁波所经之处，这些场的强度从波峰到波峰迅速地高低起伏，正像完整的水波那样。当波沿垂直这两个场的方向前进时，两场间保持着一定的关系。电磁波和水波的明显不同处是前者传递能量不需要物质。

电磁辐射也会呈现粒子性。所传递的能量，常视为叫做光子的能包或能量子。一个光子的能量与该辐射的频率有关。虽然光子无静质量，但它也能像物体与物体相撞时那样来传能。在碰撞中，一般每物体都会改变其运动方向、动量和能量。(参见：**量子力学**)

在真空中，光子或电磁波，无论带有多少能量，速率是相同的。这个速率常用 c 来表示，并且已用许多巧妙的方法进行过测量。波长用希腊字母 λ 来代表，频率则用字母 f 来代表，两者对特定颜色的光，也都做过测量(参见：**光**)。经发现，电磁波的速率总等于其频率乘以其波长，如以下诸等效方程所示：

$$c=f\times\lambda,\ f=c/\lambda,\ \lambda=c/f$$

一旦辐射能通过物质时，其速率就要在一定程度上减慢。它们的波长也就变短了。不过，前面的几个方程这时仍成立，因为波速随着波长缩短而降低。这就是物质中的光速与真空中不同的原因。然而，确定某处能量和每一光子能量的光频率，却是不变的。



声波为纵波。从一振动音叉发出的声波的形式是每一压紧的空气区后，紧接着一空气的稀疏区。在纵波中，从一压缩区到下一压缩区之距离为一波长。横波则可用穿过一条直线上下的曲线来表示。横波振动方向与其传播方向互相垂直。波长则是两相邻波峰或波谷之间的距离。振幅则是波峰顶到直线的垂直距离。一个完整的波则称为一次循环(一周)。

吸收，反射，再辐射和电离

电磁波中，有些部分不能穿透一些物质。这时它们不是被该物质所吸收，就是被反射出来。例如，无线电波会很容易地穿过水泥墙，红外辐射则为其所吸收，而可见光则为其反射或散射掉。红外辐射或热辐射是先被吸收，而后再辐射出来。

当高能电磁波或带电粒子辐照到一物质的原子或分子上时，可能会改变物质的原子或分子结构。由于引起的电子之得失，这些辐射能产生带正电或带负电的原子——离子；或产生带正电或负电的分子团——自由基。能产生这种效应的辐射，便称为致电离辐射。

电磁波与电子间的相互作用

大多数原子是由电子、质子和中子组成的。质子和电子带电量相等，但前者带正电而后者带负电。电子比质子小和轻得多。电子围绕由质子与中子紧密聚结的原子核而运动。(参见：**原子粒子；物质**)

由于电磁辐射是由电场和磁场构成的，因此它会对原子中的带电粒子有所影响，特别是对质量甚微的电子。一切运动电荷都有其自身的电场与磁场。当一电子吸收了电磁辐射后，电子的电磁场发生了变化，它的动能增加。

原子中，电子在正常情况下，总是在一特定的范围中或特定轨道上，围绕该原子核运动。若一电子吸收了合适大小的能量，其能量的增量就会使电子运动到——量子跳

跃一距原子核更远的一处。这种运动常称为轨道的变迁，即运动到了一激发的轨道，或一激发能态。

原子中往往有些不同的能级，其上有该原子的电子存在。移出一近原子核的轨道上的电子，比移出一远核的轨道上的电子，需用更多的能量。一个电子能态之改变只能是一定量的，其值与电子的轨道有关。（参见：**量子力学**）

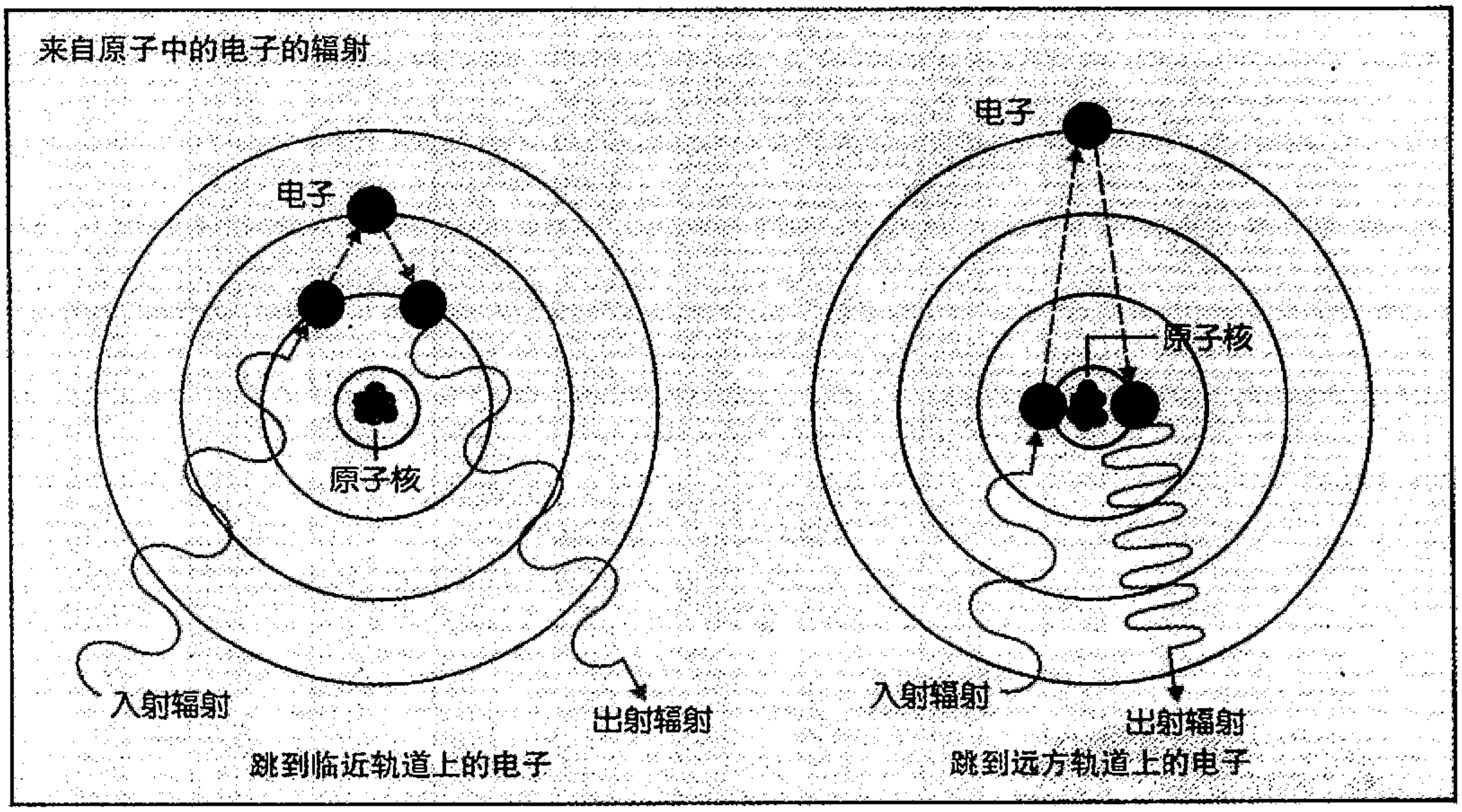
能量的吸收和反射

原子中，一个吸收了能量的电子返回到原轨道时，便会再辐射。再辐射的能量与原吸收的能量同大小。若原子中的电子从原来的位置越过一个以上的能级，则当其返回到原来状态时可一次再辐射出其全部的吸收能，或者每一次跳低一个能级而辐射出较小的能量。

再辐射的方向，与原来能流的方向，可一致，也可不一致。例如，水泥墙吸收了太阳能后，其再辐射则是朝四面八方的。这些散发能，有的为墙中的邻近原子再次吸收，而又再辐射出去。这表明：水泥墙不但会将其吸收的热随即辐射掉，而且在日落后仍继续辐射。

电磁辐射往往在一物体表面就被反射或散射掉。这种情况发生在：辐射中并无大小正好的能量，将原子中的电子升到激发态，或使原子电离。每个核外电子都受到足够大小的力将它约束在它的轨道上，因此电子的电场与磁场只受到电磁辐射的瞬息扰动，随后就几乎恢复其原态。通常，反射能之大小与反射前辐射中存在的能量相等，除非还有吸收发生。能流的反射角，与原来的电场与磁场射到反射物上的角度有关。（参见：**光学**）

在某些情况下，散射的辐射能不同于入射的辐射能。这是由于拉曼效应的结果。这现象是印度物理学家拉曼在1928年发现的。用光直接射至一充满含待研究物溶液的密封玻璃管上，便可产生这种效应。该液体散射了一些光。大多的散射光的光子和入射光的能量相同（因此有同样的波长和频率），但小部分光子的波长和频率与原入射光不同。这之所以发生，是由于液体中有些分子从入射光子中吸收了能量，或把能量转给了入射光子，而这些光子就以比原来低或比原来高的频率来散射。这些结果则取决于液体中的分子键能级之间的跃迁，而这些能级又取决于键的特性。因此，拉曼效应提供了关于分子键结构的有价值的资料。



当辐射轰击一原子，电子会吸收其中的一些能量，而跃迁到附近的轨道上。当该电子回到其原位置时，便会放出辐射。若受高能照射后，则情况亦然，但电子会跳到更远轨道上。当电子跳回到原轨道时，它再辐射出与吸收的同样大小的辐射能。

能量的吸收效应

如果像X射线或γ射线之类的高能辐射照射到物质的原子或分子上，其全部或部分能量被吸收，则原子本身就会有实质性的变化。吸收了γ射线和高能的X射线的能量后，常常会引起电离。这过程涉及把靠近原子核的电子完全赶出原子，把分子分裂开，或使原子核发生变化。而像低能的X射线或紫外线之类的低能辐射，常是吸收了光能，而把电子移到离核较远处。上述两情况中，原子或分子本身都发生了变化，往往加强了其化学活动性。

辐射吸收在医学上有实际应用。低能的X射线为骨骼那样高密度的物质所吸收，但却透过了如肌肉之类的密度

较低的组织。被吸收了的辐射到不了身体背后的X光照相底片上。但它却透过了别的组织，而为底片上的化学物所吸收，导致曝光。因此，在底片上未曝光的部分就显示出了骨骼及其他高密度组织的像，而可用来探查其中的任何骨折与骨裂。（参见：**X射线**）

电磁辐射的吸收，还可以用来解释光化学、荧光、磷光和光电效应等现象。不同频率的X射线、紫外辐射、可见光和红外辐射对不同的物质，产生了各种各样的光化学反应。其中两个最常见的例子是：照相底片的曝光和植物的光合作用。两者都是先由电磁辐射造成电离，而后导致新分子之产生，并释放出化学能。电磁辐射常充当化学反应中的催化剂。

荧光是电磁辐射的另一有趣的效应。通常是电磁波谱中的不可见部分，如紫外线激发了某些气体中的电子，而产生荧光。被电子吸收的能量，则以再辐射的方式发出光谱中的可见光。当激发源停射后，荧光一般就会停止。若还继续发荧光，则称这种光为磷光。

光电效应最早在1887年为赫兹所发现，而在1905年为爱因斯坦所说明。当某些确定频率的电磁辐射，使大量电子从一物质的原子中抛射或释出时，就发生了光电效应。若用的光频率较低，则释出的电子数极少；当达到某一频率时，便有大量自由电子突然涌现。按物质的不同，释放出的电子或在其中流动而产生了电流，或大量地飞离物质的表面，而产生明显可测的效应。这种效应的发现，最终导致光子的概念和量子力学的发展。

辐射对健康的影响

X射线显然对诊断骨伤有用。电离辐射对治疗某些癌症有效。非电离辐射，如红外线，则可加速损伤肌肉的恢复。紫外光和可见光，似有助于对某些忧郁症之治疗。

可是，X射线与其他的电离辐射也使细胞中的化学性质起变化。因此，在医学实践中，对用电离辐射做治疗中所产生的正负效应，应做到心中有数。

为确定用辐射治疗是否合宜，科学家们则由观测辐射的分子和原子级的效应，来估价其相对的生物效应。辐射致损的概率与其造成的严重后果，必须和某疾病的治疗效果作对比，以此来权衡轻重。是否治比不治还坏？要做出这样的判断，必须建立一些明确的标准，主要是一些国家的有关规定。对某一特定辐射能造成损伤的数量的大小，虽无完全一致的意见，但常用两种标准：拉德和雷姆。

1拉德是活体组织对电离辐射的真正吸收量。受曝到800或以上的拉德是致命的。450拉德则造成半数受曝者的死亡。200拉德就会使少数的受曝者活不下去。50拉德或以下的剂量则并无急性症像出现，但身体的某些部分——如生殖系统的组织细胞——的遗传功能，会受到损害。

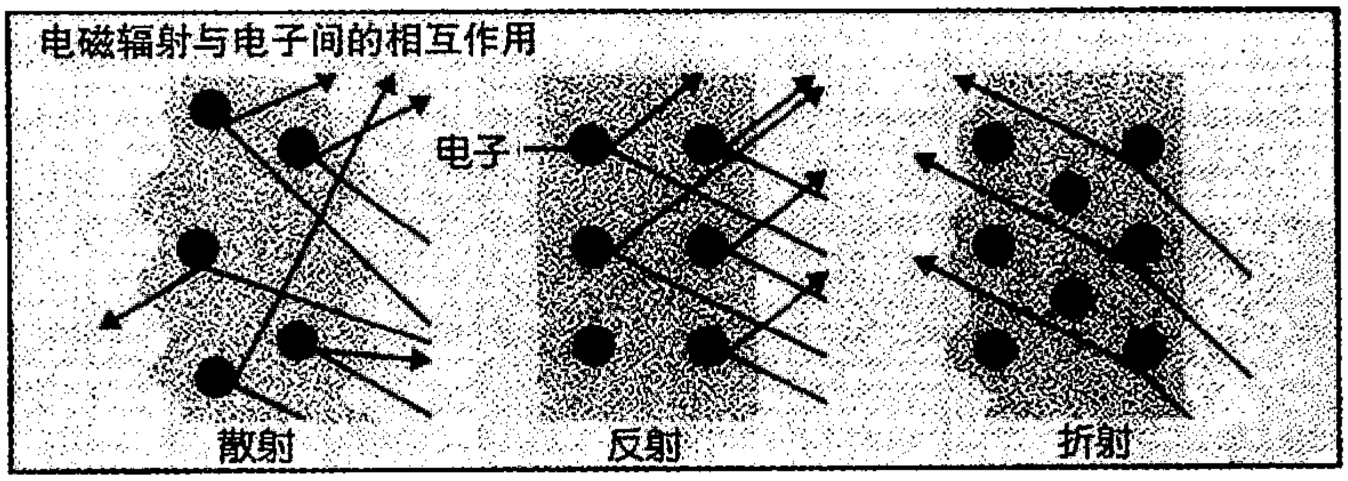
1雷姆对人体造成的生物效应的辐射量，必需与1拉德的X射线相同。一般认为多数人每年约受0.3雷姆的天然辐射。为使多数在工业上使用辐射的雇员的接收量，不超过使人体组织受损的公认的限度，美国政府订了每人每年接收5雷姆的标准。大多数辐射都是可以防护的，尽管其中的一种辐射的防护法，对另一种辐射未必生效。对辐射防护，其防护层的密度和厚度是起决定作用的因素。

电磁辐射的类型

在1873年出版的麦克斯韦的著作中，他首先猜测到所有辐射的电磁特性并预言：类似光但波长远比它长的波，可由电磁力来产生。到1887年，才由赫兹从实验证实了这一理论的正确性。赫兹的发现导致后来无线电、电视和雷达的发展。今天我们所知的电磁辐射的种类有：无线电波、微波、红外辐射、可见光、紫外射线、X射线和γ射线。

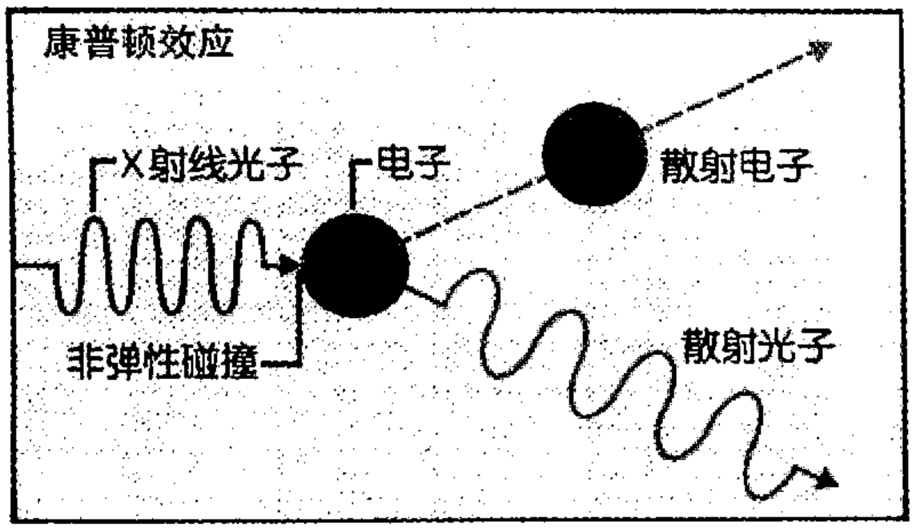
无线电波

当一大群电子按一定的图形运动时，就会产生无线电波。据天文学家的研究结果，这种运动常自然地在恒星的较外层的区域中发生。例如，太阳就在不断地发无线电波。



当电磁波射到一群原子的电子上，波的能量被吸收又再辐射出来，散射到四面八方。在另外情况下，波可被反射或沿单一方向被反弹回。当波通过物质时，由于波速的改变，电磁波便会弯曲而发生折射。

在地球上，低频率而长波长的低能光子用做无线电广播和电视通讯。这种通讯的发送器乃是由金属制成的发射天线，其中布有该金属原子或分子的较外层的约束较疏松的轨道电子。只要不大的能量，就可将这些电子经电离而成为自由电子。在适当的条件下，对金属加上电场与磁场，这些自由电子便会在金属中穿流。电子的这种流动便形成了电流。



当一X射线之光子打到一电子上，其一部分能量用来使电子运动。A. H. 康普顿曾证明：散射光子的波长增大。

使电磁场来回反向，则这些电子便会来回运动，即振动。每当电流完成一次振动（一完整循环）时，就产生出无线电波。因此，电流振动愈快，则电波的频率就愈高，而波长就愈短。

当每一电波靠近一接收天线时，则产生与上同样的过程，只是反过来而已。发送器产生的能量被无线电波以振动电磁场的形式所携带。为响应这些场，金属天线中的自由电子来回运动，而在天线系统中产生了振动场。长度约与传送波的波长相等的天线，其接收效果最佳。这些振动经放大，而为住户的收音机和电视机所用。

无线电波的波长，可从 30 厘米到 300 万米。其电波的频率范围为 100 到 10 亿（10^2 至 10^9）赫兹（周/秒）。用做长距离的无线电广播的无线电波，以两种方式传递。地面

电磁波谱

电磁辐射	频率 (Hz)	波长 (米)	典型波源	典型用途
宇宙射线	10^{23}	3×10^{-15}	天体	粒子物理研究
γ 射线	10^{22}	3×10^{-14}	放射性原子核，核粒子碰撞，天体	粒子物理研究
	10^{21}	3×10^{-13}		
X 射线	10^{21}	3×10^{-13}	原子内壳层，太阳与其他天体	医学装置，天文学研究，工业，医学，及其他领域
	10^{20}	3×10^{-12}		
	10^{19}	3×10^{-11}		
	10^{18}	3×10^{-10}		
	10^{17}	3×10^{-9}		
紫外辐射		3×10^{-10}	电火花与电弧中的原子，太阳及其他天体	光化学过程，显微术，照相，食物及其他产品的辐照
		3×10^{-9}		
	10^{16}	3×10^{-8}		
	10^{15}	3×10^{-7}		
可见光	10^{15}	3×10^{-7}	太阳及其他天体，灼热物体，电离气体	照相术，光谱分析，光学，其他各领域中的研究
红外辐射	10^{14}	3×10^{-6}	太阳及其他天体，灼热物体	医学治疗，夜间摄影，遥控成像，食品加工，其他各领域中之研究
	10^{13}	3×10^{-5}		
	10^{12}	3×10^{-4}		
微波，雷达	10^{12}	3×10^{-4}	电子学装置	通讯，航行与国防设备，气象预报，科研工作，消费品
	10^{11}	3×10^{-3}		
	10^{10}	3×10^{-2}		
	10^{9}	3×10^{-1}		
无线电波	10^{10}	3×10^{-2}	电子学装置 磁场中运动的带电粒子，太阳及其他天体	调幅与调频无线电广播，短波广播，电视，射电天文学，其他研究领域
	10^{9}	3×10^{-1}		
	10^{8}	3×10^{0}		
	10^{7}	3×10^{1}		
	10^{6}	3×10^{2}		
	10^{5}	3×10^{3}		
	10^{4}	3×10^{4}		
	10^{3}	3×10^{5}		
	10^{2}	3×10^{6}		

波——靠近地球表面的发射波部分——与较低大气层和地面本身相作用。这种电波，直到其能量耗尽前，能沿弯曲的地表面行经数百公里。向天空上发射的那部分波即天波，则被地面上高度从100—400公里处的大气电离层所反射。反射回的天波回射到地面（或大气的另外一层电离层上），而提供了无线电的长距离传递。

多数商业广播台发射的电波一般不被电离层反射而只走直线。这样的传送距离短，因为这种电波不能从电离层弹回到地面，传到世界各地去。

来自自然界的无线电波，则是由其他恒星系统和巨星际气云的天文过程中产生的。这可告诉天文学家有关产生这种电波的能源的许多许多信息。

微波

微波是波长从30厘米（3×10^{-1}米）到1毫米（10^{-3}米），与红外辐射相接近的电磁辐射，其频率范围是从10亿赫兹到1 000亿赫兹。这种辐射是由像速调电子管和微波激射器这类的电子学装置产生的。这两种装置都利用电产生并放大微波频率的定向波束。这些装置中的电子振动比在产生无线电波装置中的要快，因此所产生的电磁波，更容易将其聚集成一束辐射。

微波常用于电话和计算机数据的传送。携有一段频率与能量范围的一束微波，可将它从传递器传送到位于地球上的接收站，如在微波通讯网络中；或将它送出大气层，如在卫星通讯中。接收器是将接收到的信号放大之后，再传到其他接收器。

有些微波会被水所吸收或反射，这要由其波长确定。例如，当一窄微波束在暴雨天传送时，探测器将会收到由雨点反射回来的微波。探测器与暴风雨处的距离，可由微波脉冲来回的时间长短乘以脉冲的传播速率而算出。这种技术——雷达——在短期气象预报和军用和商用航空上都有用处。

现已用于千家万户的微波炉，所产生的是10厘米波长的电磁辐射。食物中的水分吸收了这种辐射，产生了高内能的水分子。这就转而产生食物内部的高温，这是从内部而不是从外边加热来烹烧食物。由于人的身体组织中含水量大，这种辐射对人体可能很危险。微波设备要屏蔽得当，以防止辐射泄漏。用来盛食物的容器，要不吸收或不反射这种辐射才行。

红外辐射

常称之为辐射热，其定义是：波长约从1毫米到0.00075毫米（10^{-3}至7.5×10^{-7}米）段的电磁辐射。这正好在可见光谱的红色端之外。红外光波的频率范围则是从1 000亿到100万亿（10^{11}到10^{14}）赫兹。W.赫歇耳在把一温度计正好放在可见光谱红色尽头之外处时，发现了这部分电磁辐射。它使该处的温度计的温度明显上升。

原子、分子的振动和转动，及它们的电子的运动，产生了这段电磁辐射波谱。波长短的红外线易为多种物质所吸收，因而对加热被照物有效。关连人触觉的感觉神经，能为这种频率的辐射能所刺激。于是脑子就把这种刺激译为“热”的感觉。常可用红外辐射来治疗肌肉损伤。它比别的安全辐射，具有更强的穿透力，它产生的热，还驱使血液流动，这就进一步地加速了治疗过程。

波长更长的红外辐射，就不被微粒所吸收或散射了。因此，长波红外线能穿过云尘或水汽。这段电磁波谱对研究银河系内被尘云所遮住的区域的天文学家们是有用的。环绕行星运动的人造卫星也能透过云层的阻挡，“见到”和探测从下面来的红外辐射能。用专门的照相底片和电子探测器来吸收不同波长的红外线，使它产生卫星的像。这种技术称遥感照相，它有各式各样的用途，其中有：监测植物的生长，探测受病害的庄稼和测量某些特型工业产生的热。用红外线来做夜间观察，则可得到一些惊人的自然和人类活动的详尽记录，而一般在黑暗中，这些活动用眼是看不清楚的。

可见光

可见光的波长、频率和能量，只限于一狭窄范围。其波长范围约为从红光的0.0007毫米（7×10^{-7}米）到紫光的0.0004毫米（4×10^{-7}米），以及相应的约从10^{14}赫兹到10^{15}赫兹的窄频率范围。从太阳发出的在此范围中或在其附近频率的光，很容易透过地球大气层。当原子最外层的电子从激发态回到原来的未激发的正常轨道上时，就会产生可见光。

从这段光谱中，可得到相当多的科学资料，这主要因为肉眼就能看见，而不必求助于高级仪器。几千年来，可见光的本性，一向是宗教崇仰和科学上关心的课题。

可见光的速率，最早是在1676年由丹麦天文学家罗默测定的。关于反射、折射和衍射的基本原理，也在19世纪中弄清了。为说明观察到的光现象，提出了光传播的波动和微粒模型，对两者有时取此弃彼，有时则反之。从这部分光谱首次发现不同物质中的光速不同。再者，可见光谱中的不同部分中，有的光速比别的部分要慢得厉害。这些都知道了之后，才发现可见光只不过是远比它宽得多的电磁波谱中的一小段。（参见：**色；光；光谱和分光镜**）

紫外辐射

紫外辐射的波长从稍短于可见光的紫光开始，一直延伸到低能的X射线（软X光）区。紫外线波长的数量级为10^{-7}米到10^{-8}米，频率则从10^{15}赫兹到10^{16}赫兹。不少元素的原子的辐射能在紫外区。紫外线对氯化银有影响，最早是在1801年被注意到的，此后便有了紫外线照相。这种照相提供的景观实况和从可见光照片中看到的，有显著的差别。

直到近来，科学家才刚弄清紫外线对生命机制的详细影响。必需先受长波紫外线的照射后，人的体内才能产生维生素D，后者是一种促进与保持骨骼正常发育的物质。紫外辐射还促使皮肤细胞产生黑素，而使皮肤被晒黑。但是，科学家现在已确立了：受短波长紫外辐射照射和基底皮肤细胞中的遗传变异与皮肤癌间的高度相关性。现已司空见惯的是：日光浴者在身上涂上专门的防晒剂，来遮挡或吸收掉日光中的高能及有害的紫外线。

幸好波长最短的紫外线已被地球大气层中像臭氧这样的气体所吸收。这种致电离辐射对许多生命组织，引起严

重的损伤。化学污染对臭氧层中气体产生的效应，现已被严密监视，以求对这个保护层加以防护。大气中的这种拦阻效应，对许多有机体的生存起了决定作用。

研究人员已发展了一些用紫外线对食物进行消毒的方法，这和其他如罐头食品的食物保留法效果相似，但很不相同。在制罐头食品中，用红外线加热来消灭引起严重疾病的有害微生物。由于紫外线的能量高于红外线，故用前者消毒历时要比后者短得多，这样就使食物不用煮就杀灭了其中有害的微生物。果品工业与蔬菜工业，就采用这种消毒处理法。

紫外辐射还有其他商业上的用途。在光化学过程中，它用来生产像磷化物、萤石和洗涤剂中的增光剂等材料。研究人员还可用这部分紫外辐射，大大地改进显微术。一般，当光波长等于或短于被照物时，可最清晰地见到其反射像。由于紫外线的波长极短，故可用来更容易而清楚地探测用可见光所不易看见之物。

X 射线

X 射线的波长范围约从 10^{-9} 米到 10^{-13} 米，频率则从 10^{17} 赫兹到 10^{21} 赫兹。1895 年伦琴对 X 射线之发现，曾引起了很大的轰动，从而导致放射性之发现，后者是某些原子的核会自发地放出粒子辐射和 γ 射线所显示的性质。

从那之后就确定了高能电子的制动或减速，就会产生 X 射线。X 射线有强穿透力——这是它的高能的一种显示。天然的 X 射线，在许多恒星的外层大气中曾被发现。这样的情况，料想在近黑洞的吸积盘处和超新星中也会发生。

X 射线为地球的大气层所吸收，在这过程中，产生了大量的离子。只在航天时代开始后，才有可能在大气层外，探测来自其他天体的 X 射线。自 20 世纪 70 年代末，就用人造卫星在其轨道上监察这种高能辐射，从而使天文观察进入了新纪元。

X 射线一经发现后，便在医学上得到普遍的应用。连鞋店中也安装上了 X 光机，来作为鞋是否真正合脚的新奇检验装置。当更清楚地了解 X 光电离过程的破坏性后，就将 X 射线的使用，置于更严格的控制下。

γ 射线

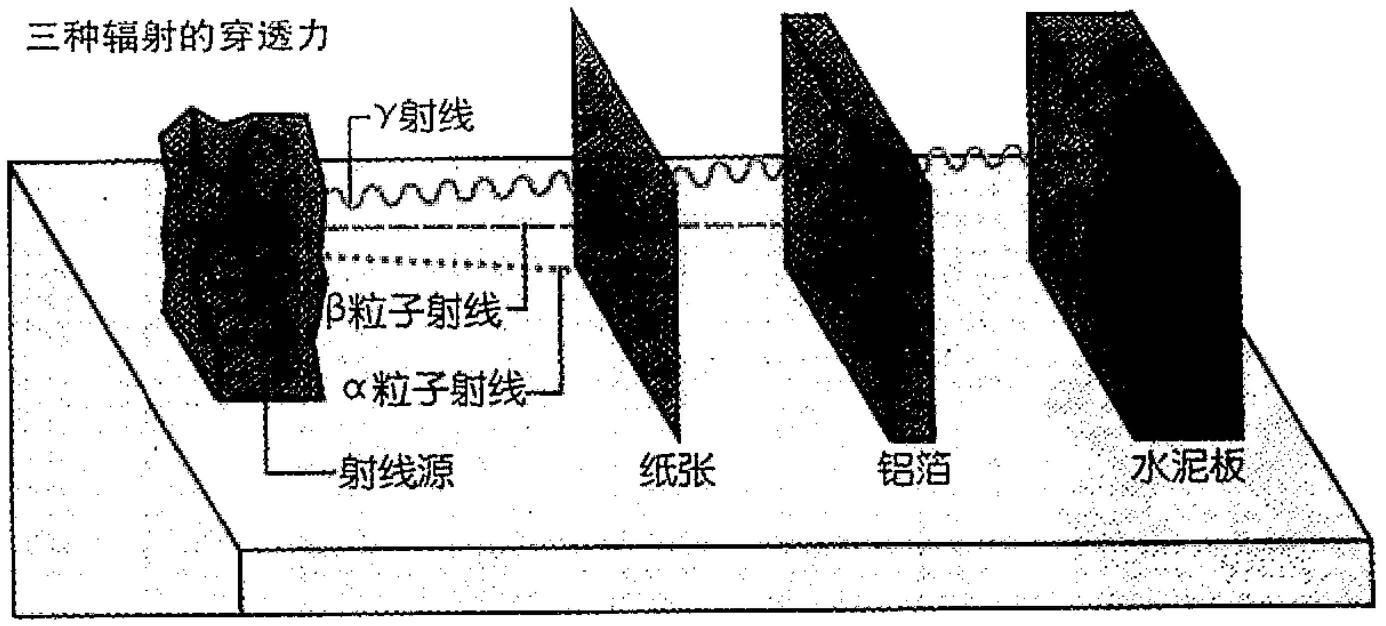
γ 射线波长约短于 10^{-13} 米，频率高于 10^{21} 赫兹。它们是从天然或人工放射物质的不稳定原子核中放出的。γ 辐射与其他粒子辐射，也都是核爆炸的产物。每个 γ 射线光子所带的高能量，反映在 γ 射线超强的穿透力上。

光子的能量，常用 1 电子伏特(eV)的单位——1 个电子经过 1 伏特电压后所获得的能量——来表示。我们可以将 γ 射线光子、微波光子及 X 射线光子的能量做一比较，来看 γ 射线能量之大小。1 微波辐射的光子能量约为 0.0004 (4×10^{-4})电子伏特。1 中等能量的 X 射线光子的能量约为 40 000(4×10^{4})电子伏特。换言之，吸收 1 个 X 射线光子能量的电子，所获得的能量，将是吸收微波光子能量后的 1 000万倍。而 γ 射线光子具有的能量，约是 1 个 X 射线光子能量的 1 000 倍，或为 4 000 000(4×10^{6})电子伏特。

粒子辐射

对粒子辐射而言，只不过把高速行进的粒子，作为辐射中的一大类而已。这样的粒子常与高能电磁辐射相关联：这两种辐射都会从像核燃料的聚变或裂变中产生。但它不像光子，这些粒子是有静质量的。而这些粒子的能量，一般都是很高的。

通常列入辐射类的粒子有：氦核(亦称 α 粒子，其原子的电子被剥夺，而只剩下了一只有 2 个质子和 2 个中子的核)和电子(亦称为 β 粒子)。其他类型的粒子辐射有：氢原子核或质子、中子以及氘或重氢的原子核。



α 射线、β 射线和 γ 射线三者的穿透力差别很大。α 粒子用几张纸就能挡住。β 粒子则透过纸张但为铝箔所挡住。其中 γ 射线的穿透力最强，要用水泥板、铅板或其他的厚实挡板，才能挡住。

使这些辐射穿过已知强度的电场和磁场中的专门探测器，则可观察到粒子径迹曲线及其路线之曲率大小，由此可对粒子做出确认。质子与其他带正电的粒子朝一方弯，电子与其他带负电的粒子则朝反向弯。而电磁辐射，则循直线穿过电磁场。

原子间的碰撞、裂变和聚变过程，自然而然地发生在恒

星的内部或其大气中以及气云中。这类过程在地球上能用粒子加速器产生并加以控制，如像美国伊利诺伊州巴达维亚处的费米国家加速器实验室或瑞士日内瓦欧洲原子核研究中心那样。在这些加速器中，原子靶为加速到能量为几十亿电子伏特的粒子所碰撞。碰撞中会有原子粒子被逐出或被吸收。无论哪种结果，都可为范围广泛的装置探得——从盖革计数器到云室或气泡室。（参见：**天文学；原子粒子；核能；原子核物理学**）

对这些结果的分析，可提供有关物质本性及物质构造上的资料，这正像看到地上摔碎的闹钟，就能发现有关上弦闹钟的部件及如何重新装好的信息。经研究可表明：哪些部分飞出来了，它们是群体中的一个部分或是独立的个体，它们飞得多快多远，哪些部分向哪些方向飞行等等。当然，最好是把钟慢慢轻轻地拆开。可是，将粒子结合的核力是如此之强，以致无论什么原子都要重击才能砸碎其原子结构。

粒子探测器

粒子辐射探测器有两种基本类型：一种对带电粒子计数，一种则示明粒子的运动方向、电荷以及速率或能量。盖革计数器是对电流脉冲计数的，这种电流脉冲，是当电离辐射通过计数室中的气体时产生的。火花室和闪烁计数器中，当有高能粒子或光子射入时，所含的荧光剂或磷光剂便会发光。切伦科夫探测器则是用来探测高能带电粒子通过一透光介质——能容光通过的介质——时所发的电磁辐射的，这时带电粒子的行速高于在该介质中的光速。

粒子辐射所生之电磁辐射的形状为一圆锥体，其顶点就在粒子与所通过的介质相互作用之处。在一大小如屋的箱中四壁上，布满了许多光电池。当每个光子射到光电池上时，后者就会发出一信号给计算机，记录下那个电池被光子击中，以及该光子的波长、频率和能量。对这些来自大量光电池的资料进行分析与综合后，研究人员便能重建出一粒子的大小、运动方向、速率和能量。

云室中容有过饱和的气体或蒸汽，当有离子通过时，便在其周围凝结，显示出离子的行径。气泡室中则含有过热的液体，当离子通过气泡室时，则产生了沸腾的气泡。而这些气泡就显示出离子的行径。以上两种探测室均置于强大的磁场或电场中，使带电粒子的路径，弯曲成一独特的形状。可用相机将这些作用结果拍摄下来，现有可记录这些情况的专门胶片。

当前的辐射研究

自20世纪60年代苏联和美国有了太空计划以后，地球大气层外的研究便占有高度优先的地位。由于外来的电磁波谱中的大部分为大气所吸收，所以对太阳、其他恒星、银河系、类星体和其他天体所产生的这些波长的辐射，过去知道及了解得很少。这些在宇宙图像中的空白，现已迅速填满。

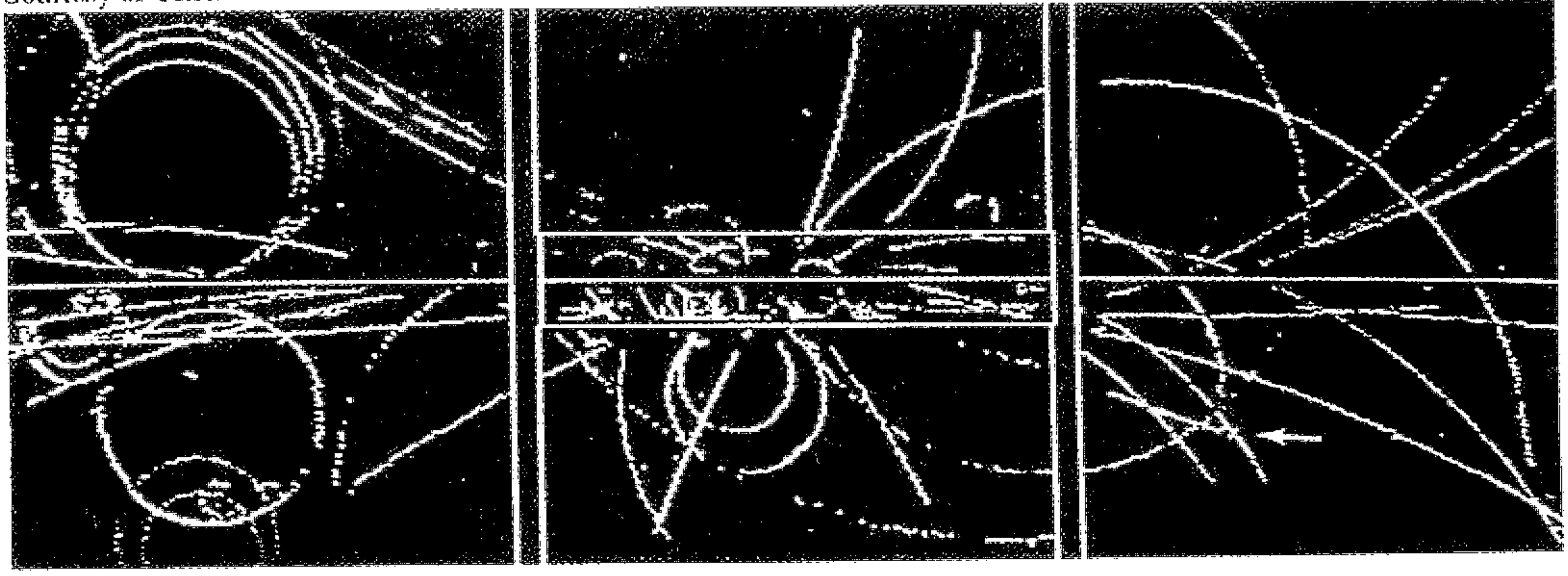
在医学、分子生物学、食物加工业、发电和太阳能——只提及其中很少的几个——中各种辐射的安全应用，正以空前速度在向前发展。这些发展给人类的生存与前途以希望。同时，其中常有商业用途的军事辐射研究，也引起全世界许多科学家和政府首脑们的普遍关注与争论。像所有的技术进步一样，辐射的研究和应用必将继续发展下去，尽管它对人类社会的最终影响，目前知道的还很有限。

撰文：L. Eric Skalinder

放射性 RADIOACTIVITY

19世纪末年，科学家发现某些物质所具有的惊人活动性。在长时期内，这些物质的原子射出粒子并发出辐射（统称射线），没有人怀疑这件事。科学家也发现不可能改变这种发射。不论施加热量、电场或施加其他力，都毫无影响。发射似乎成了这些物质的不可变异的性质。

Courtesy of CERN



图中箭头所示系反向的高能电子-正电子对，是在瑞士日内瓦的欧洲核研究中心（CERN）的一次质子和反质子对碰撞的碎片喷射记录中所确认的。它们提供了出现Z粒子衰变的证据。位于中心的两根水平线显示了碰撞束流的径迹。

许多重要应用来自这个发现。铀元素的特殊应用导致核武器和核能的发展。医生也已经发现这些射线能够进入活组织，穿行短距离，并影响组织细胞。和X射线一样，它们能够切断细胞内部重要化学物分子的化学键，所以它们有助于处理癌或其他病症。

一段时间以后，科学家知道如何使其他元素包括构成我们身体的主要元素，都发出它们的射线。通过取食或其他方法使这类放射性元素进入人体，利用它们发出的射线就能追踪它们在人体内的过程。示踪元素的这个应用，对扩展生命过程的知识极有帮助。

地质学家已经知道如何利用放射性确定岩石的年龄，校准山脉的年代甚至地球本身的年龄。放射性的研究不断地帮助对原子性质的研究，从而，科学家了解能量和物质如何相互作用以引起物理世界中出现的每个事物。

对放射性的研究

最初，科学家不知道这些奇异发射的性质，他们只称之为射线。从拉丁文 radiare，意为"放出射线"而将它们称为 radioactivity，即放射性。为了追索现代的关于放射性的知识，最好的办法是了解科学家怎样发现它，怎样用进一步的实验和研究逐步理解它的性质。

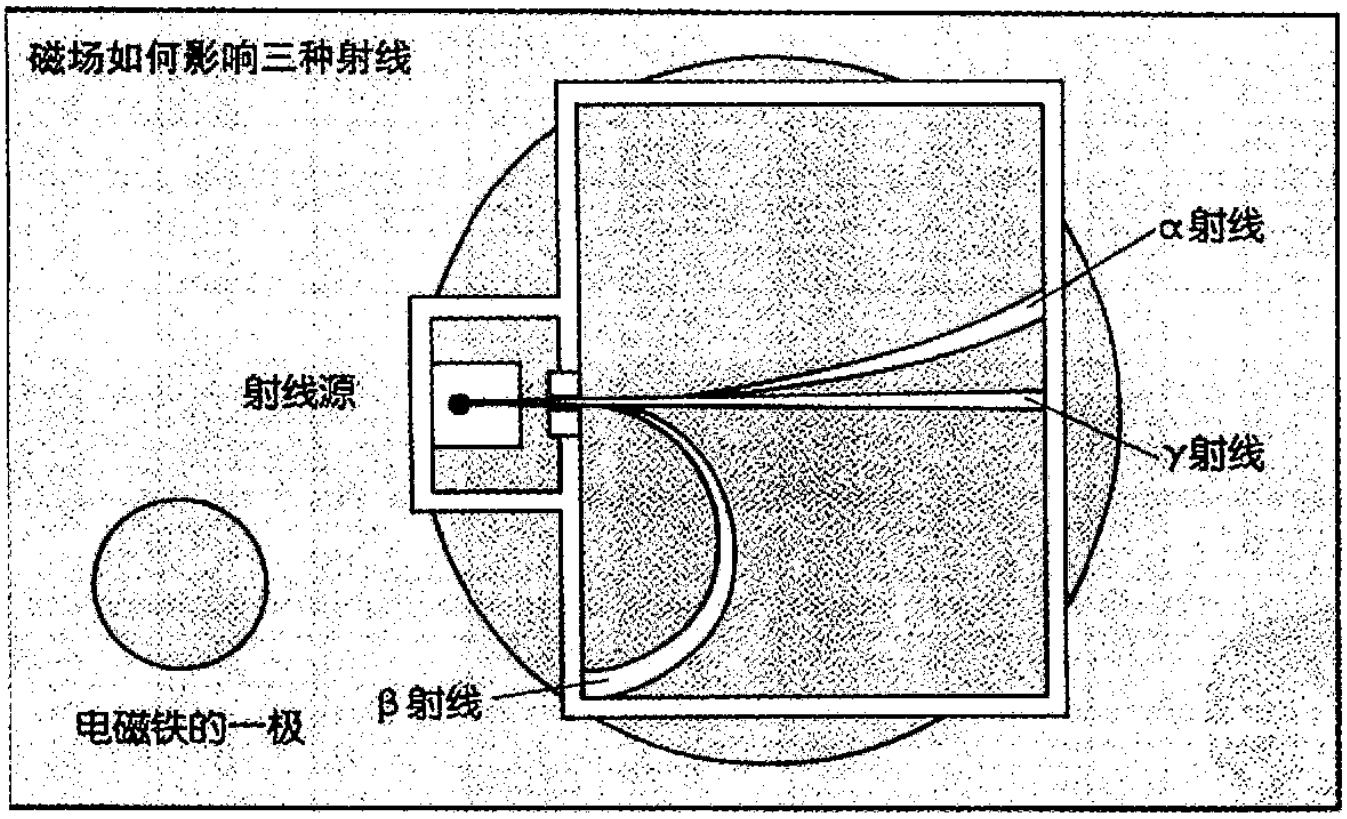
最初的进展来自伦琴于1895年发现的X射线（见：**伦琴；X射线**）。法国科学家贝可勒耳发现当不可见的辐射往外发射时，X射线管的玻璃会激发绿光，这引起他的兴趣。他怀疑其他引起发光或荧光的物质是否也发射像X射线那样的不可见辐射。

为了弄清这一点，贝可勒耳把照相底片用不透明的纸包紧，使只有穿透性的辐射才能射到感光物质上，然后把发磷光的结晶放在底片上。在他所测试的磷光物中有一种铀盐。铀盐使底片清晰地感光，而其他物质全无效应。他试验了几个月，发现荧光物质毫无这个效果。全部铀的化合物不论是否发生荧光，都能使底片感光。这个不可见的辐射似乎是铀的一个自然属性。

贝可勒耳还发现当他把铀靠近带电的验电器时，电荷迅速漏泄。很清楚，辐射使验电器内的空气成为传电的导体。此后不久，波兰裔法国物理学家居里夫人及其丈夫居里发现另一个惊人现象。她着手用不同的金属或矿物作样品使验电器放电，并记录其放电时间。

十分稀奇，沥青铀矿石比纯铀的放射性要强4到5倍，甚至在把铀提炼出来之后。居里夫人断定这个矿石必定含有一些放射性更强的其他物质。随后她将这个物质分离出来，发现它是以往不知道的化学元素。它的放射性是铀的400万倍，所以她称它为镭（radium）。（参见：**居里一家；镭**）

同时，其他科学家发现了这些射线的性质。1899年E.卢瑟福发现铀发出两种不同的射线。一种可用一张纸或几英寸的空气阻挡住。卢瑟福称它为α射线。第二种能穿透5毫米厚的铝片，称为β射线。一年以后，发现了第三种射线，它能穿透20厘米厚的铁板，称γ射线。（α、β、γ是排在最前面的三个希腊字母。）

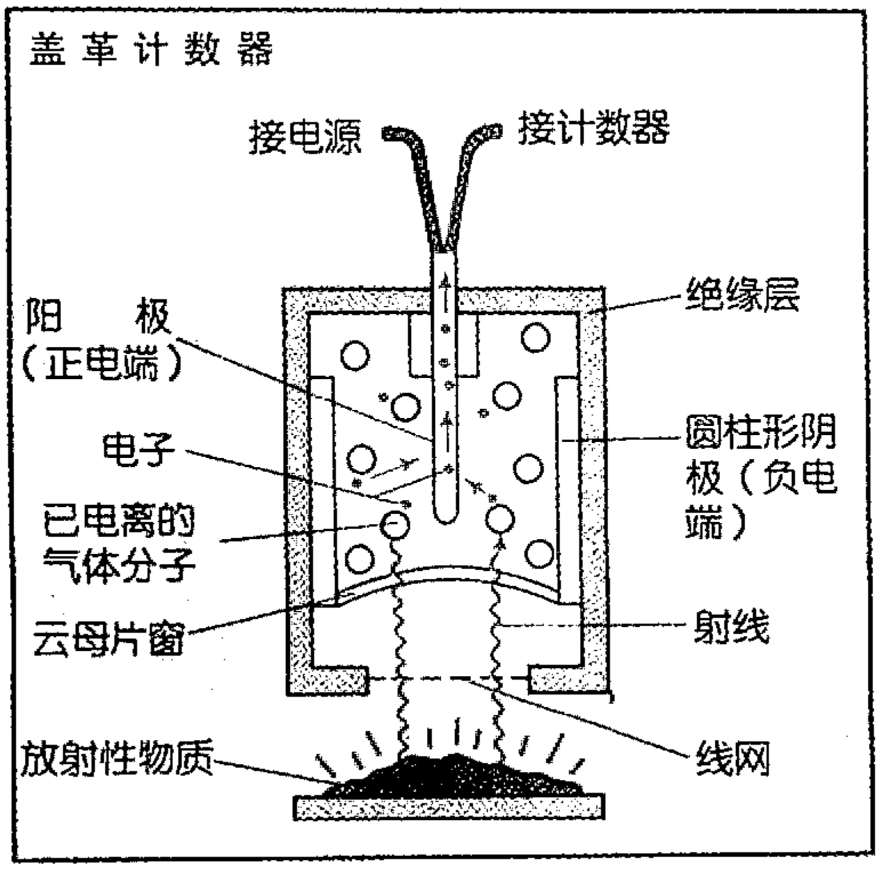


磁场（图中只显示一个磁极）对放射线的影响取决于射线的类型。α射线（较重的带正电的粒子）轻微地向一个方向弯折。β射线（轻的带负电的电子）朝另一方向弯折很大。γ射线是不弯折的电磁辐射。

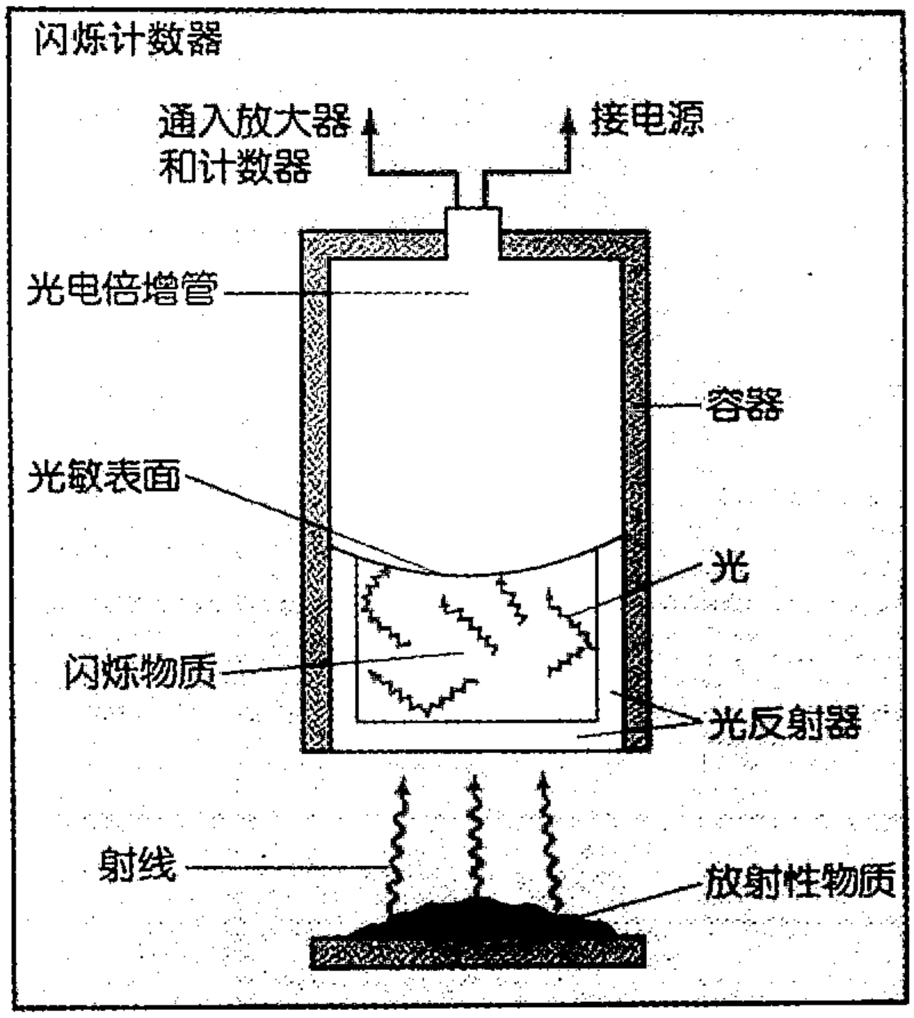
这些射线对磁场和电场的响应各不相同。当它们通过放在强磁场内的探测器，α粒子弯向一边，β射线朝向反方向弯得很厉害，而γ射线不受影响。运动情况可用它们所带电荷及质量的不同来说明。射线在两块带不同电荷的板间发射时，得出相同的实验结果。α射线偏离正极板而弯向负极板，β射线很强地弯向另一面，而γ射线毫无影响。大家都知道，同类电荷互相排斥，不同类电荷互相吸引。这个弯折也和射线粒子带有电荷并有一定质量相符合。α射线必须由带正电的粒子组成。β射线是带负电的粒子。γ射线很明显地不带电荷。

放射性和原子

由于α、β粒子和γ射线来自原子内部，显示了这些粒子多少是原子的一部分。原子不再如科学家过去所想像的那样是物质的最小单元。原子由一些更小的单元（如放射出来的粒子）构成。



盖革计数器装满气体，由电源对计数器壁和中心管供应正负电荷。如果射线粒子进入器内并电离一些气体分子，在器壁和中心管间就有电流通过，计数器记录下每个电流脉冲。



闪烁物质在吸收射线时发出闪烁光。这些光射到光敏表面。光电倍增管量度这些光信号并将它们转换为电信号，使它们能够被放大并记录下来。

在那个时候，科学家已经发现电子，一种带负电而质量只有氢原子（自然界中最轻的原子）的$\frac{1}{1840}$。迅即证明β粒子（$_{-1}\beta^0$）是电子束流。也证明了α射线中的粒子（$_2\alpha^4$）是氦原子核。氦是在氢之后的第二个最轻元素。

在发现更多的天然放射性元素之后，了解到不论是哪一种元素，在它们的转变中发出的射线，只有α、β、γ三种。这使人们想到放射性和非放射性元素必须含有同一类的亚原子粒子。由于这个实验和其他实验，科学家迅即建立了每种原子都由同类亚原子粒子构成的理论（见：**核能**）。稍晚，证明γ射线和无线电波、光波、X射线一样，都是电磁辐射，只是波长比已知的X射线更短。

元素的嬗变

在发现放射性之前，科学家认为物质的原子是不可分割的。在无穷无尽的化合物中，原子可以结合再结合，但经历了全部变化，每个原子仍保持原样。放射性的发现迫使这个理论变动。当铀和镭原子失去像氦核那样重的粒子，它们很难仍保持原样。它们必须变为其他物质的原子。实验和研究显示这个观点的正确性。这些元素将变为其他元素，称为元素的嬗变。

镭提供一个好例子。当1个镭原子蜕变时，有2个气体产物——氡原子和氦原子核（α粒子）。每个带电的α粒子俘获无家可归的电子，变为稳定的氦原子。不稳定的氡原子再次变为其他元素的原子。其他蜕变相继追随，直到这个嬗变系终止在稳定的铅元素。

一个放射性元素相继转变为另一元素，形成每个系列的元素族，从母元素到铅，科学家已经找到4个主要放射物质的元素族或嬗变系——铀-镭系；锕系；钍系和镎系。

人工放射性的发现

20世纪早期，科学家就尝试使普通物质具有放射性，但未能成功。当时尚无有效方法将足够能量用来搅乱紧密结合的原子核。1919年，卢瑟福用α粒子的巨大能量轰击氮核。试验证明这个轰击使一些氮原子变成氧原子和氢原子。

1934年，约里奥-居里夫妇（居里夫人的女婿和女儿）用α粒子轰击铝片，发现在停止轰击后，铝片在一段时间内仍发射粒子射线。在发射这些粒子中，铝转变成一种在自然界中从未发现的新物质。

新的物质具有磷元素的化学性质，但它的原子量和通常的磷不同。这个事实表明这个物质是磷的同位素。它也具有放射性。它发射正电子（带正电的β粒子）和γ射线，并转变为稳定元素硅。约里奥-居里还制成了具有放射性的硼、镁和其他放射性同位素。

在这些早期实验中，只能用放射性物质发射的粒子来轰击样品，因为没有其他可控制的粒子具有影响原子核紧密结合的足够能量。物理学家逐步建成了能够制造每种元素的放射性同位素的设备。

检测粒子的设备

由于射线粒子太小，小到用放大倍数最高的显微镜也看不到它们，必须从它们产生的效应来探测并量度。最早的这类仪器之一是闪烁镜。来自放射源的粒子撞击涂有反应物质的一块板屏，产生闪光，这过程称为闪烁过程。利用显微镜能看到闪光并计数。

利用现代探测器，当某种粒子在给定的时间周期内穿过探

测器，就能记录它们的数量，也常能记录它们的方向。这些设备包括闪烁计数器、盖革计数器和切伦科夫辐射探测器。闪烁计数器和切伦科夫探测器记录粒子和固体及液体相互作用时闪光的次数。很弱的闪光由光电倍增管探测。

典型的盖革计数器——它可能是全部电离室中最广为人知的探测器——在两个电极间充有气体。一个电极是圆柱形阴极，另一个是细线阳极，插在圆柱体的中心。带电粒子在气体中穿行时，使气体分子电离。电离化过程中游离出来的电子和正离子分别受正极端和负极端（阳极和阴极）吸引。在联结这些元件的电路上就通过一个可检测到的脉冲电流。闪光和电子脉冲被记录并计数。另一类探测器在很短的时间跨度内记录下粒子的方向、电荷和能量。这些探测器包括云室和气泡室。两者都利用带电粒子在室内径迹上所电离的分子。当出现电离时，气体凝结或气泡形成，留下可见的尾迹。

放射性和核力

有关放射性的一个基本问题是为什么一些元素天生就有放射性，而另一些元素就没有。放射线的性质和天然放射性元素大部分有大原子量，给物理学家提供了两条主要线索。答案就在于亚原子粒子为什么能结合在一起而形成原子核。

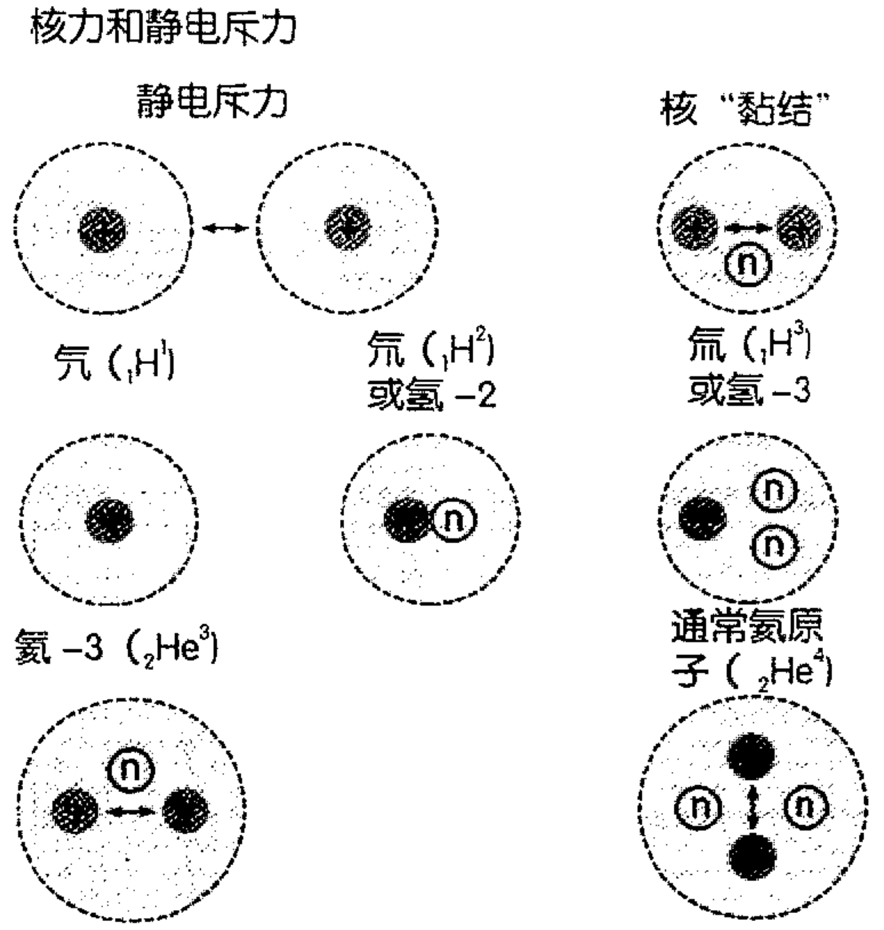
自然界中最单纯的原子核是氢核。它只有 1 个质子。质子带有 1 个正电荷，抓住 1 个带负电的电子，形成 1 个完整的氢原子。

其他原子核都有不止 1 个的质子，需要有一类力克服带正电荷的质子间的斥力，从而结合成原子核。这个核力被认为是一种"黏结"力，亚原子粒子紧密靠近时，这个力就起作用了。核力只在"黏结"距离以内起作用，不能超越这个范围。

这个力不可能是电性的，因为它除了克服静电斥力之外，对电荷并无其他影响。这个力的另一方面，是只在核内陪伴有另一类粒子即中子时才发挥作用。中子是查德威克于 1932 年发现的。中子的质量大致和质子相等，但不带电荷。一旦原子核有 1 个或多个中子，就形成多种结合。1 个或两个中子能够黏结在氢的单个质子上，形成重氢即氘（$_1H^2$）和氚（$_1H^3$）。2 个质子也能抓住 1 个中子，形成氦的同位素（$_2He^3$）。

这些符号表示原子核的构成。氕的化学符号（$_1H^1$）中，H 的左下角的小数字 1，表示质子数。它也是原子序数，表明氢元素在元素周期表中的位置（见：**周期表**）。H 的右上角的数字 1 表示核子的总数——质子数和中子数之和。它被称做质量数，因为这个总数几乎完全确定 1 原子的质量。符号$_1H^2$ 表示 1 个中子加入到质子中，使总数为 2。符号$_1H^3$ 代表 1 个质子和出个中子的结合。$_2He^3$ 有 3 个粒子，这一点和氚相似，但它们中 2 个是质子，这和通常氦原子（$_2He^4$）相同。同一元素而中子数不同，称为同位素。

两种重氢的核俘获另一个质子，就得出两种结构的氦（$_2He^3$ 和$_2He^4$）。氦是氢之后的第二个最轻元素。在剥离它的电子之后，它就是放射现象中的 α 粒子。结合两个电子就成了完整的氦原子；氦是所有元素中电子最饱和也最



两个质子（＋）上的正电荷，要使质子分离（左侧顶部），如有中子（n）存在，质子就受到"黏结"力或说核力克服静电斥力（右侧顶部）。当中子粘在单氢的一个质子上，就形成氘或氚，它们中的每一个都能得到另一个质子形成两种氦同位素$_2He^3$ 或$_2He^4$。

惰性的元素。（见：**化学**）

两种氦和三种氢的结构表明了每个元素为什么都能存在称为同位素的不同结构。中子提供足够的黏结力，所以它们的数目有点变动而仍能约束住所需数目的质子。同位素可能稳定，也可能不稳定——即不能无限期地结合在一起。例如氘（$_1H^2$）有足够的黏性使它成为稳定的。它能够和寻常氢一样进入化学反应，但反应速率稍慢。氚（$_1H^3$）没有这样强的黏性。它迟早要俘获 1 个质子变成氦的同位素（$_2He^3$）。$_2He^3$ 是稳定的，它以一个小比值（10 万分之 13）和紧密结合的寻常氦$_2He^4$ 相混和。

中子-质子比

在$_2He^4$中，质子和中子数目正好相等。比氦稍重的元素，直到$_{20}Ca^{40}$ 并把它包括在内，一与一的中子-质子比保持不变，只有个别元素的稳定原子离开这个比例，多一个或几个粒子。

原子序数大于钙后，中子数才超过质子数。因为质子间有静电斥力，必须有超额中子，给与相互排斥的质子以中和力。因此，这些中子起了帮助原子核结合在一起的作用。

原子序数上升到铅（$_{82}Pb^{208}$）和铋（$_{83}Bi^{209}$），这些超额中子能够永远地将原子核结合在稳定态中。然而质子数超过 83 的原子核，没有一个能够保持完全稳定，中子再超额也不行。结合可保持一段时间，但它们是在强制状态下保持的或是不稳定的。破坏力始终要把原子核的一些部分逐出去，不时地获得成功。这构成了放射性活动。因此全部比铋更重的元素都是天然放射性元素。

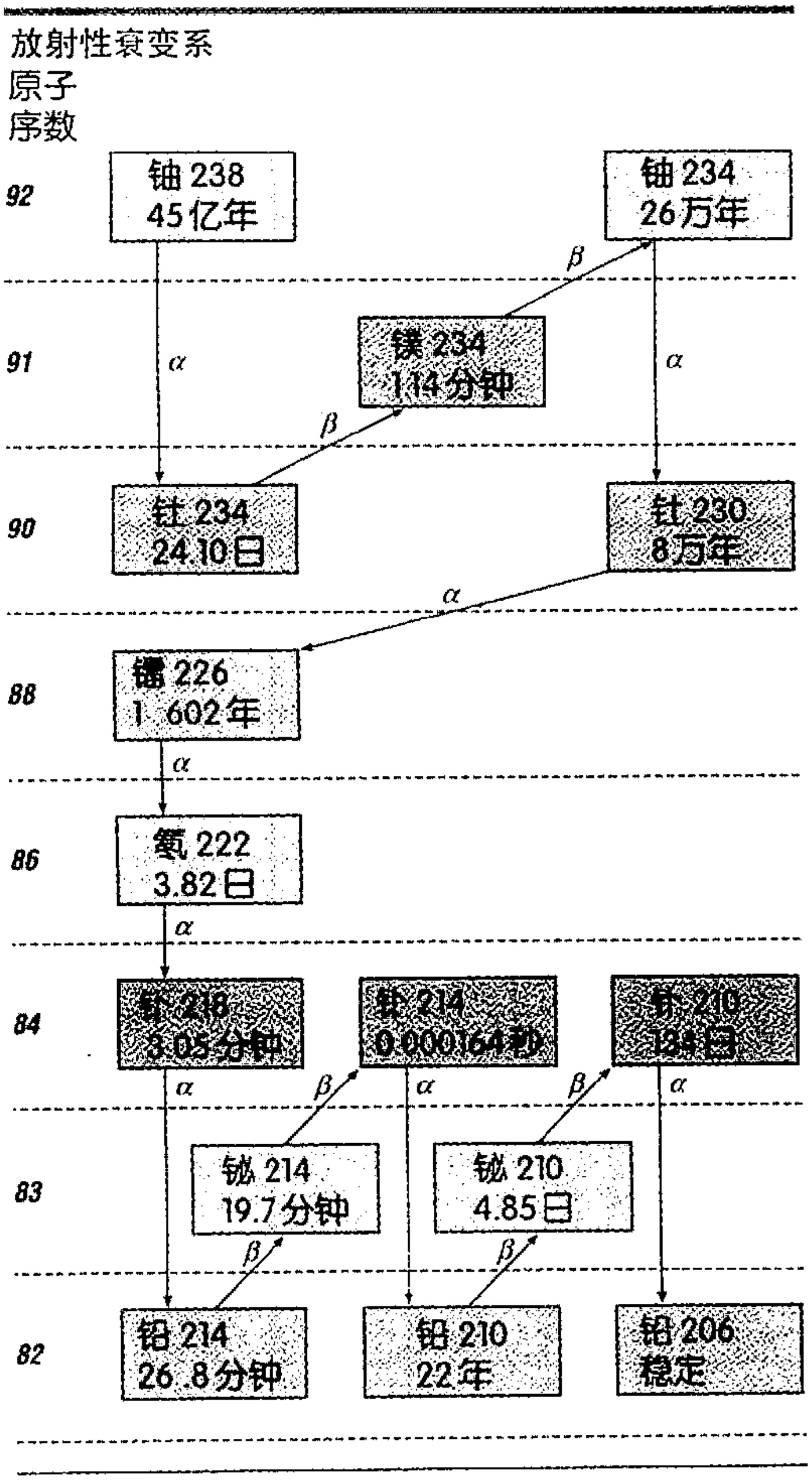
放射性衰变系

天然放射性元素在一次大变化中卸除全部约束变成铅和铋，这样的事例是很少的。在大部分情况下，原子核有足够团结力阻止这类事，而代之以一步一步地相继蜕变。

全部这些步骤能够组合成放射链或放射系，本条的前文已做了说明。为什么每条链中出现这么多的衰变步骤，只能联系能量的概念来解释。

原子核的结合能

自然界中任何时候发生的每件事都涉及能量。所以，和任何原子核有关的一个基本事实是将它结合在一起的能量的数值——结合能。通常，这个数值可以用将原子核破碎成分离的粒子所做的功来确定。然而，物理学家"反其道而行之"，通过确定形成原子核时做了什么事，找到这个问题的答案。



从铀开始的发射α和β粒子的放射性元素系。每个方格内标注了元素名称及质量数，在其下是元素的半衰期。

这个方法所依据的事实，能够参照人们日常事务来描述。在人群中，使一个好班组团结共处，比分别维护每个成员要少花力气。在核子分别存在和将它们组织在犹如班组的原子核内这两情况间，也有同样的区别。原子核内核子团结共处和它们分别存在相比，需要的总能量较少。（当这些粒子形成原子核时，要将过剩的能量辐射掉。）

形成原子核时需要释放多少能量，单纯的线索由爱因斯坦的质能关系式 $E=mc^2$ 给出。（式中 c 为光速。）这个公式告诉我们，与能量 E 的任何变化相联系，质量（m）本身也要有相应的变化。因此，当总能量因形成原子核而降低时，总质量也将相应地降低。氦（$_2He^4$）的形成提供了一个简单的例子。

为了进行这类计算，物理学家使用了和中子与质子质量密切相关的质量单位——原子质量单位。这个单位如此之小，6 022 万亿亿个原子质量单位才等于 1 克。自由质子的质量为 1.0076，中子为 1.0089。因此，氦的 4 个粒子在分离状态时，总质量值为 4.0330 原子质量单位。然而用质谱仪做实验，测定氦核的值为 4.0028 原子质量单位。在结合过程中损失了 0.0302 原子质量单位。从这些数据，用爱因斯坦公式就能得出在一系列的形成氦核的过程中总能量的减少量。

其他原子核的结合能也可用同法得出。通常，总结合能除以粒子数得出的值称比结合能，总能量降低得越多（即比结合能越高），原子核就结合得越巩固，要将原子核分离成自由粒子必须做更多的功。原子核中每个粒子（质子或中子）结合能的范围，从锂（$_3Li^6$）的 5.3MeV（百万电子伏）到周期表中靠近（$_{26}Fe^{56}$）的元素的 8.7MeV。它慢慢降低到重元素如铀（$_{92}U^{238}$）的 7.94MeV。

稳定性和不稳定性

结合能、静电斥力和核子的运动间的关系确定原子核是否稳定。较旧的理论不可能对这些关系做出满意的解释，因为它们处理质量、力和能量遵循一种方法，在一种原子核状况下只能有一个答案。这个方法不能解释放射性，因为在这样的观点下，原子核将永远结合在一起或完全不结合。现代的波动力学理论更灵活地处理相互作用，排除了这个困难。（见：能量；物质）

根据波动力学，任意给定的原子核内粒子间关系的后果，能够在一定范围内变异几百万次。旧理论下的结果常常是这些变异的平均值。（更正确地说，当给定的关系匆忙通过它的可能的各个变异时，旧理论下的结果是最相近的或是可能性最大的。）

通常，出现什么现象取决于这些平均值的机遇。自然界中的许多有 83 个或不到 83 个的原子质子，控制力的边界足以使这些原子稳定，因为没有一个变异能使一个粒子突破边界。然而，在原子有 84 个或更多个质子时，静电排斥力大到使边界变得很薄了，就能够产生偶然的突破。这类事出现的多少取决于极端变异的出现概率。这样就解释了放射性元素的不同半衰期。

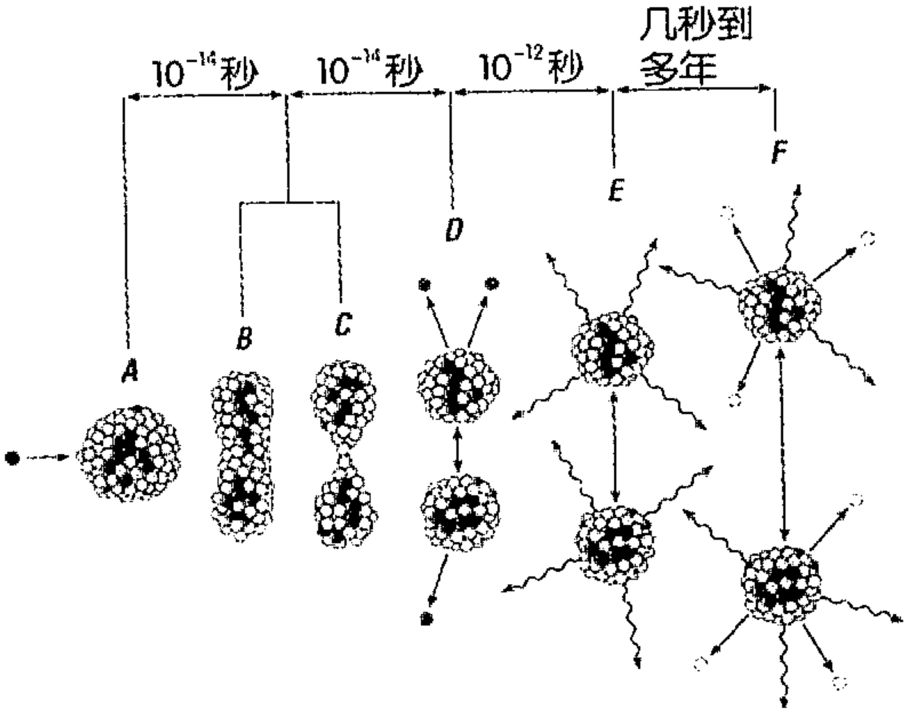
放射性元素的半衰期

放射性元素以不同的速率衰变。这个速率用半衰期量

度。半衰期是指任意给定量的放射性元素蜕变了一半的时间。铀-238的半衰期最长。它有45亿年。镭-226的半衰期为1 602年。一些同位素的半衰期以分、秒计，或甚至不到百万分之一秒。同位素半衰期用于放射性记年以测定地球上岩石的年龄。

半衰期的重要特点，是在第二个半衰期内并没有把剩下的一半全衰变完，而只衰变剩下的一半的一半。在下一个半衰期内，又只衰变留剩下来的一半。

中子引起的铀裂变过程



中子撞击铀核并被吸收(A)，使铀核变形(B)。一种强烈的变形(C)使铀核不能复原并分裂(D)，释放2个或3个中子。不到1秒钟内，裂变碎变失去了它们的动能，并停止下来，放出一些γ射线。在这个阶段(E)，称它们为裂变产物。在最后阶段(F)，裂变产物经放射性衰变失去它们的超额能量，发射β粒子、中子和γ射线，时间范围从几秒到多年。

上述这些现象出于这个事实：衰变率是由允许粒子逃逸的合适的变异的出现率确定的。每个原子都有这样合适的机会。如果一个元素的半衰期是1 000年，一个原子已存在1 000年而未衰变，不能认为在下一个1 000年中一定衰变。这仍要取决于下一个1 000年中，粒子逃逸的条件是否在这个原子的核中出现。用平均值定律确定有关元素的衰变率，必须涉及庞大数目的原子。因此，任意一块放射性物质，虽然全部原子在不断地蜕变，但总有一些几乎无限期地保持不变。所以半衰期相当长的元素的痕迹在今天的考古学对象和岩石的标本都能发现，尽管从宇宙开始起已度过了很长时间。

α粒子的发射过程

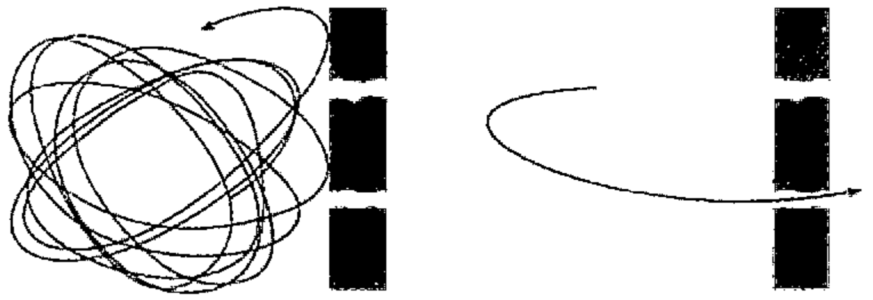
α粒子的发射是剧烈的放射性变化。它带走了2个中子和2个带电的质子以及它的动能。这个发射由氦核而不是1个或更多个质子构成，这是因为2个质子和2个中子甚至在原子核内也有牢固合群的趋势。然而，这决非必然。

使α粒子有可能逃逸的变异的有利结合，能够简单地用α粒子在核内旋转的想像做解释。核力的约束可以视为一道墙或一个势垒，以某个距离围绕原子核。

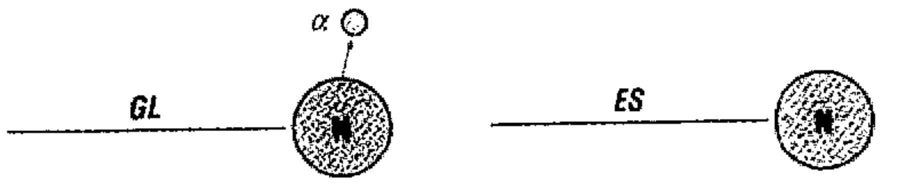
在旧理论中，这道墙是结实的、不可变的，而α粒子有足够能量就可很快地穿过，如没有就不能通过。现代理论认为这个约束力从属于变异，而变异可以视为墙内的洞或隧道。

在α粒子的转动过程中，常常撞击这道墙的结实部分而折回。(更正确地说，处于约束力有效的条件下。)然而在粒子时时碰撞下，它可能撞击到一个洞，穿过并逃逸。半衰期的不同就取决于这类事的发生率。

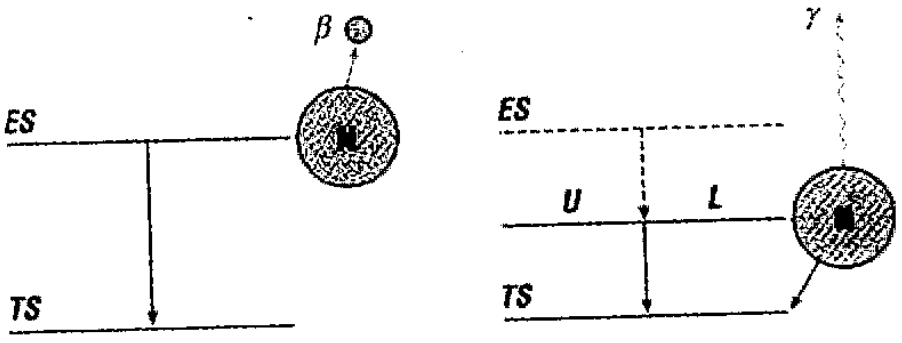
放射性衰变的种类



图内(左)α粒子状态的变异用不同形状和大小的曲线表示，把粒子约束在核内的力有如一堵有孔的墙。粒子旋转到达边界时，常常撞击这堵墙，但只有一次粒子从洞中逃出(右)。



左图中一放射性原子核处于基态(GL)能级。当它发射1个α粒子后，余核(右图)将处于激发态(ES)。这个核必须释放一些超额的能量。



这个原子核在必发射1个β粒子后(左图)，能够到达暂时的平衡态(TS)。然而，也可以使原子核转移到不平衡态(UL)。在发射1个γ光子后，再达到暂时的平衡态(右图)。

以上各图表示在天然放射现象中原子核发射α、β和γ射线的途径。也表示了从一种类型的发射导致另一种发射，在本条目内将有进一步的介绍。

β粒子的发射

在α粒子发射之前，原子核内的质子和中子比，常使原子核固结在一起，阻止α粒子(或组成α粒子的一些粒子)

旋风。只要原子核保持不受扰动，在这样条件下的能量状态称为基态。

一个α粒子带走了相同数目的中子和质子，稍稍降低了起约束作用的中子和质子比。这对约束力产生不利的影响，必须在核内产生一些结构变动，使它更接近稳定。

在一些情况下，发射另一个α粒子可达到这要求。其他情况下，倾向于发射一个带负电的电子即β粒子。这个电子的来源在近代理论中很有特色。复杂而完备的理论告诉我们，在发射之前电子不能存在于核内。它必须在发射时刻产生，即从中子中引出。结果，使中子变成质子。这增加了原子序数，并使中子-质子比更为合宜。本条前文中的铀-镭放射系图显示了原子序数从92到90，转回92，再到90的曲折过程。

当放射性原子核向铅衰变，它发射α粒子直到中子-质子比变得太大了。于是在再次发射一个α粒子之前，原子核发射一个或多个β粒子以增大原子序数。铀Ⅰ即铀-238发射α粒子后降为钍-234（以前称铀X_1），然后连续发射两个β粒子，又回到铀Ⅱ即铀-234，再转变为钍-230（锾）。还发生其他原子序数的升降变化，直到变为稳定的铅元素。

中微子和γ射线

β粒子的发射在原子核内产生了能量的变动。然而把观察到的能量变化加在一起并不满足能量必须守恒的原理。（物理学家相信，在一切情况下，能量守恒定律保持正确。）如果在β粒子的发射过程中发射了另一个称为中微子的粒子，能量就平衡了。1931年，泡利提出中微子假说，1956年第一次直接观察到。中微子可能没有质量，或质量小到可以忽略。中微子也没有电荷，并相信它以光速运动。中微子几乎和物质没有作用——只是很稀罕地通过弱相互作用（或称弱力）与质子或中子作用。中微子的发现，使科学家完成了β衰变中能量、自旋和动量的守恒。

中微子共有6种，每一种都和所联系的轻子（亚原子粒子中的一类）有关：电子反中微子和电子，电子中微子和正电子，与μ子反应的μ中微子和反中微子，与大质量的τ粒子有关的τ中微子和反中微子。

原子核的超额能量也能够通过发射γ射线来释放。这种电磁辐射所带走的能量要小于一个α粒子或一个β粒子所带走的。在天然放射现象中，γ射线在下述情况下才发射：为了原子核的稳定性，不需要失去足够发射一个粒子的能量，而只要提供适当的能量。（参见：**原子粒子；物质**）

天然放射性过程提示了人们，如果找到用足够能量的粒子猛撞稳定原子核使它们嬗变的方法，也能够引导出人工放射性。事实上，对于轻元素自然界提供了达到这一目的的方法，即利用天然放射性物质的α粒子。粒子加速器的发展最终为物理学家提供使一切元素嬗变的方法。

粒子加速器一般有两个类型：直线的和圆形的。在直线加速器中，α粒子、质子、电子、氘核和更重的原子核如碳核轰击元素构成的固定靶。使用圆型加速器的实验室的新进展已使科学家产生反物质，例如反质子，并使它们的加速方向与质子相反。当这两个粒子群猛撞在一起时，碰撞的能量将有效地成倍增加。

电子的对立物——正电子

加速器常用来产生反物质，例如正电子（除带1个正电荷以外，其余和电子全同）。当在加速器内轰击时，中子可产生质子、1个负β射线（电子）和1个电子反中微子。

在类似的碰撞中，质子可产生1个中子、1个正电子和一个电子中微子。当一个极高能量的γ射线通过很强的电场如原子核的近旁电场时，它可转换为一对电子偶——1个电子和1个正电子。反之，当1个正电子和1个自由或约束不紧的电子碰撞时，产生2个γ光子，它们从碰撞点以彼此相反的方向出射。电子偶就不再存在。通过实验已观察到这些事件的结果，并证实了爱因斯坦和其他人提出的假设，物质能够转变为能量，反之，能量也能转变为物质。

放射性元素的应用

嬗变任意元素的能力，使科学家能够生产具有放射性的普通元素。通过取食，这些元素能够进入人体的组织。这些放射性元素的化学反应过程与稳定元素相同，人体也照样吸收。一旦进入人体，能用检测器追踪这些元素所参与的过程。因此科学家能够利用这些标记元素极准确地追踪生命过程。放射性元素根据它们是否对血液、骨骼、脑髓或其他组织有特殊的亲合力而选用。它们也能被选用进入病变组织，有助于消灭不需要的细胞。

工业上用放射性分析确定物质中的杂质。射线照相和X射线一样有显示产品结构的作用，能用来发现产品中的缺陷。当航天器远离太阳，以致不能有效地利用太阳能时，放射性同位素就成为主要能源。

测量放射性的单位

测量放射性活度的单位是居里。一个居里约等于每秒发射370亿次。物质每秒发射数量只有上述数量的一半时，就用0.5居里表示。

另一个用于放射现象中的测量单位是原子核的半径（ρ）。个别元素的ρ值近似地等于它的质量数（原子核中的质子数）的立方根乘以1.2×10^{-15}米。应用这个公式和原子核大致呈球形的事实，推出粒子的密度在全部原子核中大致相等。这个密度高得不可思议。一个密度和它一样的1立方厘米的物质重约250吨。被认为由超新星形成的中子星具有这个数量级的密度，如果它的质量和太阳相当，可装入直径为19千米的恒星中。

撰文：L. Eric Skalinder

红外辐射 INFRARED RADIATION

见：辐射

紫外辐射 ULTRAVIOLET RADIATION

紫外辐射不为人眼所见，因而常称之为黑光，但当它照射到某些表面上时，则会使后者发荧光或发可见光。这种邻接可见光短波端或紫端的电磁波谱段，就称

为紫外辐射或紫外线。

普通白光是许多不同颜色光的混成体。一束日光通过一棱镜后,则作扇形展开而成一彩色带。带的一端是红色的,接下去便是橙色、黄色、绿色、蓝色和紫色,每一色光都融入到后一色光中。这特别的色光系列便称为电磁波谱的可见光段,因为这是仅为人眼所见的电磁波谱的范围。而可见光本身仅在范围远为宽广的电磁波谱中,占很短的一小段。电磁辐射还包括紫外线、γ 射线、X 射线、红外线、无线电波和微波等。(参见:**颜色**;**光**;**辐射**;**光谱和分光镜**;**X 射线**)

紫外辐射是从像太阳那样的一些高温表面发出的。紫外光谱通常分为两个区域:近或软紫外光(接近可见光),其波长为 2 000—3 800 埃(200—380 纳米);远或硬紫外光,其波长范围为 100—2 000 埃(10—200 纳米,1 纳米=10^{-9}米)。近紫外辐射是由专门的荧光灯产生的,这种光用来促进植物生长;而硬紫外辐射则是用来杀灭微生物和细菌的,这对环境消毒和某些食物保存是紧要的。

对人体的影响

紫外辐射能对人体产生直接与间接的影响。由于这种光线的穿透力弱,所以其直接影响仅限于皮肤表面。直接影响有:晒伤、晒黑和对较重剂量的逐步适应。紫外晒伤有时是轻微的,只引起皮肤发红与变软;有时则可严重到起水泡、肿胀、出水和蜕皮。表皮处的毛细血管中的红血球与白血球群扩张,而使皮肤显红色。皮肤晒黑是在于:紫外辐射活化了皮肤深处组织细胞内之色素,使其随细胞而迁移到皮肤表面处。这些细胞一死,色素便随之消失。晒黑的程度与紫外照射时间长短和人体的色素生长力直接有关。晒黑是人体天生的防止皮肤进一步受害的能力。

经常受曝晒的人如农民和水手,其皮肤变厚,老化加快而皮肤病大为增多,其中包括皮肤癌,尤其是皮肤嫩白的人。受紫外辐射后,皮肤的温度、皮肤的呼吸和皮肤中的胆固醇都会增高,而痛觉感、发汗率和人体组织中矿物量水平则会降低。

紫外辐射对人体的间接影响,主要是其坏死的皮肤细胞分泌出的组胺会引起皮肤肿胀。经受过量的紫外辐射后,呼吸系统更易感染支气管炎和肺炎,也更易在肺组织中形成钙化伤疤。受组胺的刺激,增多了胃分泌物并使酸度异常;接着会导致胃壁发炎或胃溃疡。

再者,紫外辐射往往会使血压降低,而红血球、白血球含量增加。并使血蛋白凝结。或许还会使人体重下降、食欲增加及呼吸减缓等。尽管有以上的一些害处,但紫外辐射一般对人体并非致命,而能杀死人体中的个别组织细胞和细菌那样的微生物。

臭氧层

尽管太阳发射的电磁辐射中仅含约 5%的紫外线,但若这些紫外线全到地面则足以使多数生命受严重损害。幸好,在距地面 24 公里高的大气中有一层氧气,称为臭氧层,它吸收掉了阳光中几乎全部的远紫外光和不少的近紫外光。紫外光的能量将大气中的氧变为臭氧,后者的每个分子有 3 个氧原子,而普通的氧分子中只有 2 个氧原子。

近年来,地球上各处的工厂和其他来源地的某些辐射,已使地球上有些地方的臭氧层愈来愈薄或完全消失。虽然已在极力设法堵住这些发射,但若臭氧仍像现在那样快地损耗下去——比紫外光产生臭氧的速率要快——则在世界上大多数地区居民的癌症,一些眼疾病和别的一些小病的发病率就会显著地上升。

X 射线　X RAY

即伦琴射线,俗称 X 光。自从 1895 年被发现后,X 射线已被证实为一重要的科学工具,它使我们能探察出以前未知的世界,其范围从最细微的原子到最遥远空间里的星系。X 射线是和光与无线电波一样的电磁辐射——以光速传播的振动电磁场。它们的应用有赖于穿透物质的能力。

X 射线的穿透力来自它的较短的波长和较高的能量。X 射线的波长范围约从 0.05 埃到百分之几埃。(1 埃=0.00000001厘米。)X 光的波长愈短,能量就愈高,穿透力也就愈强。反之,可见光则因波长较长而能量较低。当可见光射到非透明体表面的原子上时,就会被反射或吸收掉。(见:**光**)

医学上的用途

X 射线最早的用途之一,是在医学的诊断与治疗上。现在,X 射线仍最广泛地用于此领域。它们能穿透身体中的软组织,但被能将它们吸收掉的骨骼挡住。因此,若把对 X 光敏感的感光片置于身体的有关部位之后,而把 X 光源置于其前,则曝过 X 光的底片上就会形成体内骨骼和器官的图形。当底片或射线照相片显影后,则成负片:骨骼与厚实的组织部分则显为淡或白色区,而容易被 X 光透过的组织则成黑色区。虽然骨骼是身体中最不透明的结构,但还有不少像癌肿瘤那样的厚密的组织,也会在 X 光片上显出异样的光亮。医生们就用这些像去诊断疾病,探查体中的异物,检查牙齿中的蛀孔,研究伤断的骨骼。

要用 X 光来研究体内不太厚密如胃肠道等组织,就得先使这些组织不透 X 光。一般,医生都让病人先喝下含有不透明物(如硫酸钡)的液体混合剂,这样一来,便可用 X 光看出消化道内部的轮廓图了。

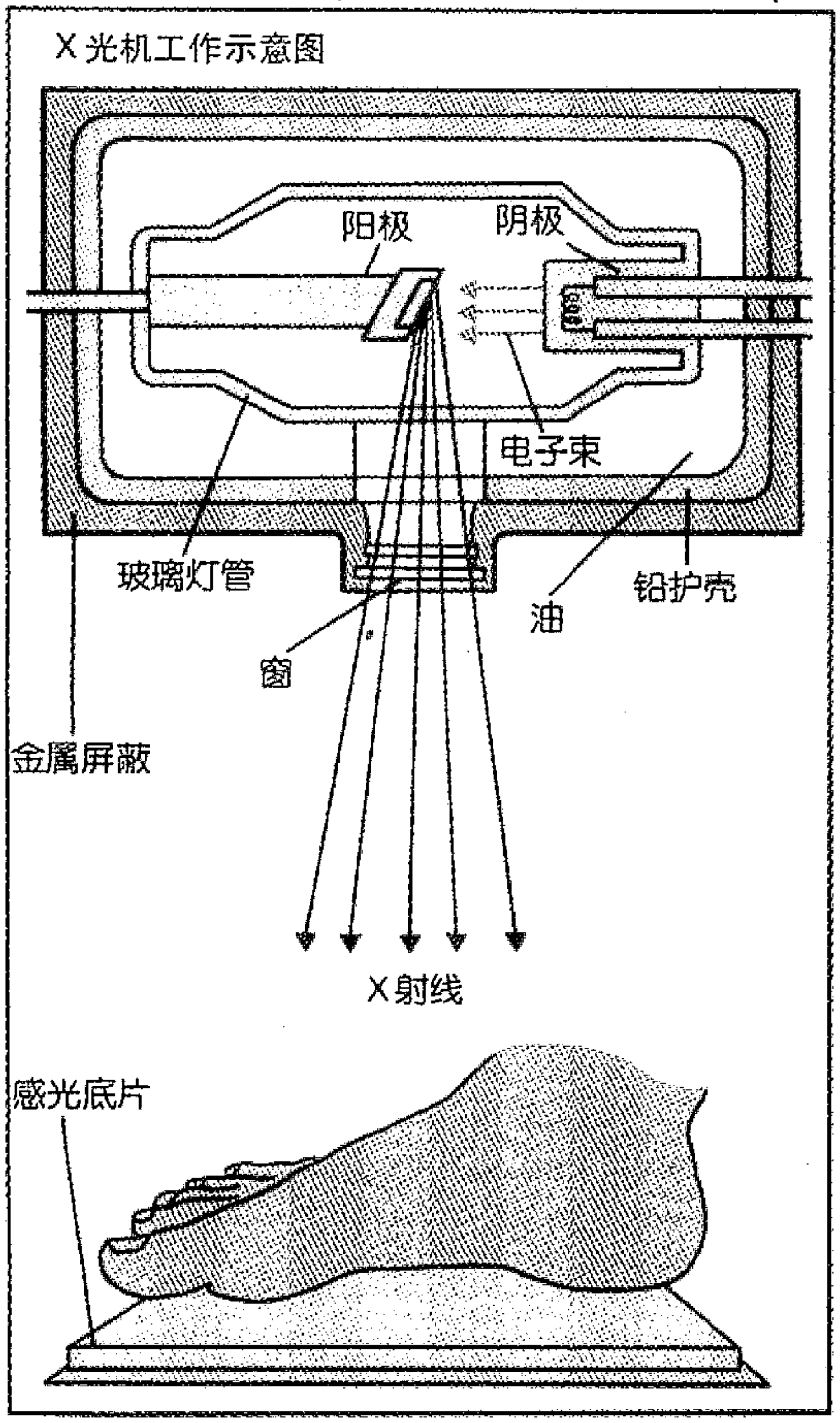
有一类似的方法——荧光检查——使医生可用 X 射线来观察身体内部某些器官的行为。使患者位于 X 光源与涂有荧光剂(遇 X 光而发亮)的屏幕之间。当 X 光照到荧光剂上,荧光镜中显示出可见像。这像因一种叫做像增强器的电子学装置而提高了亮度。然后,在一电视监察器上显像,可为医生所观察。

这样的常规 X 射线技术有一主要缺点。交叠的器官或一些软组织会使像模糊,而不足以显出清晰的图像。这问题对脑肿瘤和其他的脑损伤部分的定位,尤其重要。针对这些应用而发展了一种新型的 X 光方法,叫做计算机层析 X 射线照相法(简称 CT 法)。以前称为计算机轴向层析 X 射线照相法(简称 CAT 法)。在这种方法中,将病人置于一 X 射线机中,一狭窄的 X 光束对病人身体的某一区域进行

扫描，经过每一个 X 光脉冲而变一小角度。结果得到的是一系列不同角度的 X 光像，用电子学方法将其记录下，再经计算机对之加以分析。最后由计算得到的是一个三维的 X 光像。

尽管 CT 扫描器的成本高，一般要花费百万或以上美元，但对诊断脑病或头伤，却极有价值。这种方法能将身体内各物质间的细微差别显示出来。

(Bottom) Courtesy of Massachusetts General Hospital





(顶部)一 X 光机将玻璃管中光源发出的 X 光射到患者身体的部位上，在患者身下放一感光底片。当把射线照相底片(底部)显影后，负片上就显示出脚的骨折像。

X 射线广泛用到牙科和内科医学中。为取得口腔的 X 光像，一小片包有防光纸的底片放在紧靠牙床内侧面处。然后，牙科医生启通 X 光源，使 X 光从面颊外，经过组织与牙齿而照到底片上。这种 X 光法既可用来检查牙病与蛀孔，又可用来察看牙与牙根的排列整齐程度。

用 X 光时要相当小心，因为这种辐射能量足以把细胞中的一些原子电离——即将电子与原子核分离——而造成损伤。病人身体除要照的部位外，必须用能吸 X 光的物质(一般是金属)遮护住，而且要将 X 光的剂量控制到最小。医生、牙科医师、护士和技术员本人，也要以不透 X 光的屏蔽来保护，以免受到 X 光的过度照射。

另外，X 射线的损伤效应，与其他形式的高能量辐射一样，也可用于医学。一切辐射对分裂快的细胞的影响胜于生长慢的细胞，因为支配细胞分裂的遗传物质对辐射的反应灵敏。因此，医生有时就用高会聚的脉冲 X 光来杀灭分裂快的癌细胞，而对其周围分裂得较慢的正常细胞则损伤可尽量减小。γ 射线、放射性同位素和高能电子束或核子束，也常用来医治癌症。

科学上的用途

由于 X 射线的波长短和有强穿透力，它不但能用来研究活机体的构造，也可用于无生命之物。作为科学工具，主要用于结晶学——对晶体固体的结构的研究。当 X 光穿过规则的晶体晶格时，便相互干涉，而在照相底片上产生特定的斑点图样。科学家用计算机对图样做分析，而确定出晶体中原子的排列方式。X 光结晶学已用来研究脱氧核糖核酸(DNA)——一切生物的在传递遗传信息中至关重要的分子。

还可用 X 射线来识别未知物质。当用 X 光来轰击物体时，其中的原子吸收了 X 光的能量后，就再发射出有一系列特征频率的辐射。这些重新发射出的 X 光，便称为 X 荧光线，而科学家经分析后便可确定形成该物质的一些特殊元素了。

自 20 世纪 70 年代以来，X 射线已是用来研究遥远天体的一种强有力的探测器。因 X 射线能穿透所有的反射镜，所以难以用常规的望远镜来聚焦；但设计了专门的 X 射线望远镜，能使入射的 X 光以小掠射角深射到望远镜的凹面反射镜上，而后者则将其聚焦在探测器上。太空中极热的气团所辐射的主要就是 X 射线，如一些像中子星和已坍缩的古老恒星等一些超高密度天体。虽然这些来自太空的 X 射线为地球大气层所吸收，但从在地面之上的高处运转的人造卫星的 X 射线望远镜中，能获得丰富的新信息。

工业及其他方面的用途

像医生能用 X 光来发现人体内的隐疾一样，制造商也能用同样的辐射来发现隐藏在产品中的缺陷。由于 X 光能穿透极厚的物质，所以能用它探测火箭或其他大机器中的小裂缝。X 光常用来检验金属由内应力造成的缺陷部分，它们在 X 光照片上会出现阴影。

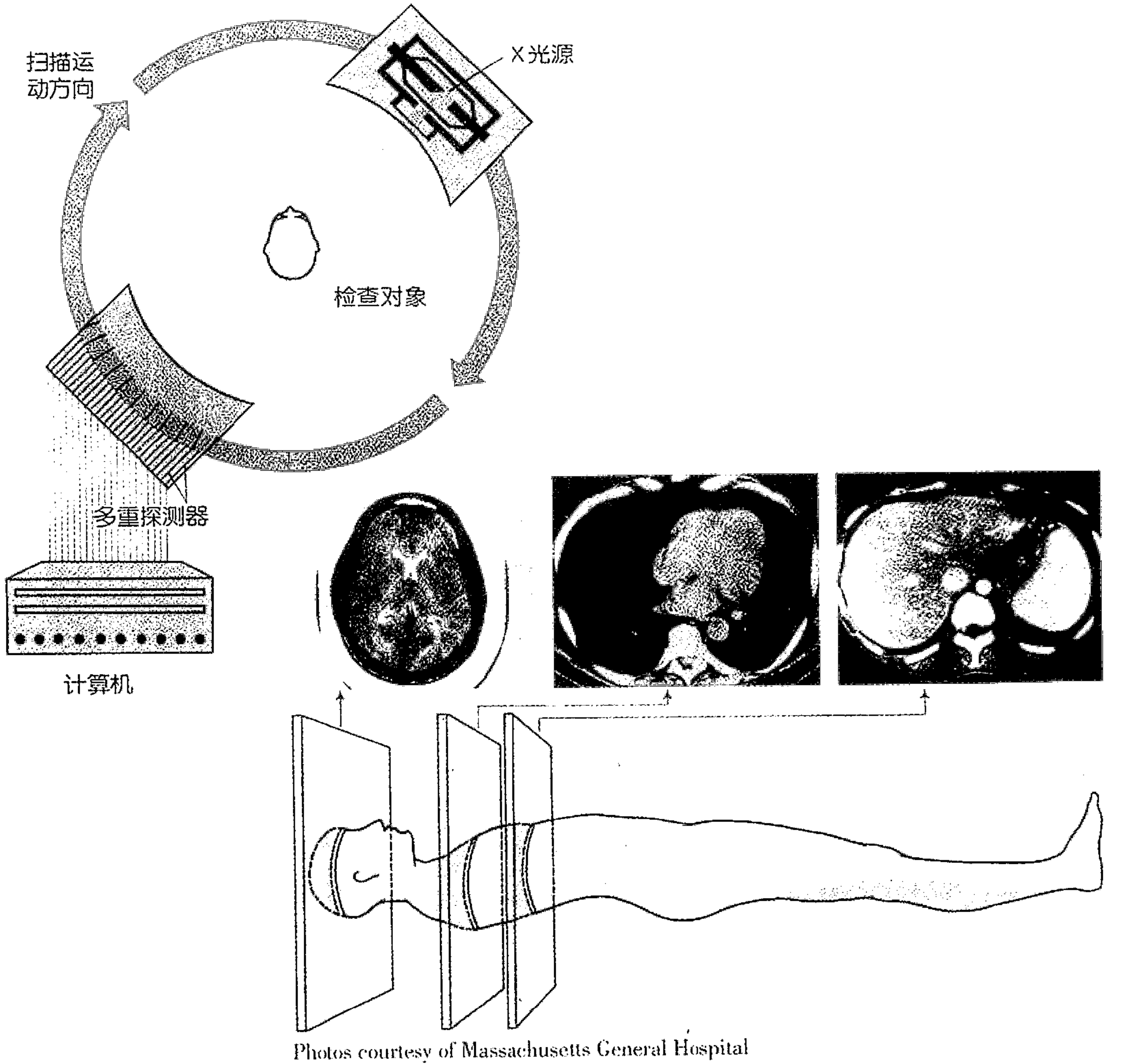
在 20 世纪 80 年代中，在制作超微型电子电路中，引用

X 射线技术。起初，集成电路都是在硅薄片上涂上一层光敏物质，然后，把相应于设计电路的线样遮上后曝光。光敏物质受光照的部分可事后除掉，因此产生了电路的永久图样。愈来愈小的电路需要更细的线，可见光的波长太长了，因而就以波长短得多的 X 光来取代。

除医学外，在科学和工业中，X 光还广泛地用于安全目的。成百万旅客的提包在机场的检查站处，要用 X 光来检查，海关的检查站也常有类似的设备。

借助 X 光的检探，艺术历史学家和博物馆长已发现了数以百计的艺术赝品。号称出自古希腊或古埃及的金属雕像，可用 X 光来检验，结果证实例如其中的内部支撑结构类型，是近代才有的。同样，X 光检验可显示出涂上了新颜料的古画。

计算机层析 X 射线照相（CT）法



Photos courtesy of Massachusetts General Hospital

为作 CT 扫描（顶图），一窄束 X 光对人体的部分区域进行横扫描，在每一 X 光脉冲后移动一小角度。由此得到的象片，经过计算机的处理，得到人体部位的三维 X 光像。CT 扫描像（中图）显示出人体的三个截面像（底图）。它们是（从左到右）：脑；胸部——显示出心脏；和腹的上部——显示出肝脏与脾脏。

X射线的产生、检测和度量

科学家产生X射线的主要方法是：让高速电子群同一重金属箔的靶相撞。电子是在真空电场的加速下而达到高速的。当这些高速电子与靶相撞时，由两个过程产生X光。

首先，高速电子与靶中的电子相撞，而将后者激发到一些较高的能级上。过后，靶电子从高激发能级回落到原来的低能级上，从而发出X射线。另外，当高速电子受到靶中电子和原子核的阻碍而急剧慢下来后，其本身就会放出X光。

任何电子加速时——即其速率或方向改变时——都会发生上述的电磁辐射过程。加速电子总会放电磁辐射，而电子的加速度越大，辐射能量也就愈高。（见：**辐射**）

X光的技师与专家，通过控制电子加速管中的加速电压，来控制受加速的电子的加速度和能量，以此来控制所发射的X光的能量与频率。对超高能的X光而言，如用来穿透厚金属，则电子可用直线加速器（简称linac）来加速电子。

可把多个低（加速）电压的直线加速器串联，而沿其管轴方向来加速电子。因此，开头只有1电子伏特能量的电子，当达目标时，其能量可增高到几百万电子伏特。

20世纪80年代中期，发展了一种新型的X光发生器——X射线激光器。这种激光器将常规激光器所生之光会聚在一细金属丝上，使其高热到足以产生热的等离子体或电离气体。这气体中的原子经高度激发而发射出X射线的光子或光包（见：**光**）。这些光子接着撞击别的受激原子，激起它们发射更多的X光，这种级联效应便产生了一强X光束。这种激光器一经完善化，就可在化学反应过程中，获得单个分子的X光全息图（三维像），供化学研究用。

美国国防部正在发展另外一种利用氢弹爆炸为启动能源的X激光器，以此作为一强有力的武器。这种激光器会把炸弹的一部分能量会聚成一窄光束，它可射中远在几千英里外的目标。这种武器系统叫做战略防御先手（Strategic Defensive Initiative）。俗称“星球大战计划”，这是里根总统在1983年3月宣布的。

自然界中空间深处的高能电子在穿过磁场被加速时，便会产生X射线。星际中高热受激原子的等离子体，则是另一种X射线源。（见：**等离子体与等离子体物理学**）

在医学显像上，则可将荧光屏和摄像片合用来探测X光。荧光屏吸收了X光能而产生由照相底片永久记录下来的像。有多种探测法。电离计数器利用了X光对气体或固体的电离作用。X光从原子中剥夺了电子，使后者成为自由电子而导电。用计数器可测得一气体或固体的电导，科学家由此可确定电离化的程度，从而得到产生电离的X光的数量。有些电离探测器用的是加了电压的半导体材料。这些均属固态探测器。

第二类探测器则是基于闪烁现象。当某原子受X光激发时所发之辐射在可见光的范围内，则称为闪烁现象。由此产生的光子经一光电倍增管放大后，由一电子学电路来计数。

在很多应用中，不但要知道X射线的强度，而且还需要知道其能量分布，即其频谱。为此，就得用X射线分光计将X射线中不同能量的成分分离开来。（参见：**光谱和分光镜**）

X射线的发现简史

X射线是通过研究高电压对气体产生的种种效应而发现的。在这些实验中，把叫做克鲁克斯管的玻璃管内之气体抽稀到半真空。研究者们发现：当气体两电极间有电流通过时，气体中便出现有亮有暗的辉光，其样式则随所加电压之高低与气体真空度之大小而异。英国的W.克鲁克斯爵士、德国的P.勒纳和H.盖斯勒都发现：气体中的辉光，是由管中阴极（电子发射极）冲流到管阳极（或集电子极）的微粒或波所造成。（因而此后多年，都称它为阴极射线，其实是电子射流。）

在1895年，德国的伦琴对这种阴极射线进行实验时注意到：当克鲁克斯管工作时，其附近的荧光剂就发生辉光，尽管已用硬纸板把该管完全遮盖住。置于管与荧光剂之间的物质使辉光减弱，但不能消除。

伦琴不能断定该辐射是如何在空间传播的，并为何有如此强的穿透力。因此，他就称这种辐射为X射线（借用数学家在问题中用字母x来代表未知量的这一惯例）。为纪念其发现者，该辐射的正式名称便是伦琴射线（X光摄影有时又称伦琴射线图。参见：**伦琴**）。尽管此后已弄清楚了X射线的性质，但仍袭用原名。

1916年美国物理化学家W.库利吉取得其库利吉（X光）管的专利权，这是现代X光管的雏型。在这以前，X光管是靠电离管中少量的残留气体分子来获得电子的。而库利吉管则用在阴极处的炽热钨丝提供电子。（因此，常称它为热阴极管。）这种X光管产生可预料的高强辐射，而后则又以高真空度进一步提高其效率。

撰文：Eric J. Lerner

激光器和微波激射器 LASER AND MASER

第一个登上月球的人在月球上留下了一个石英反射器——月球激光反射器。后来，又从地球上各个方向发射激光束到月球上，月球上的反射器又将光反射回地球。产生这种强光束的仪器，就是激光器 laser（light amplification by stimulated emission of radiation，即光受激发射放大的缩写名）。

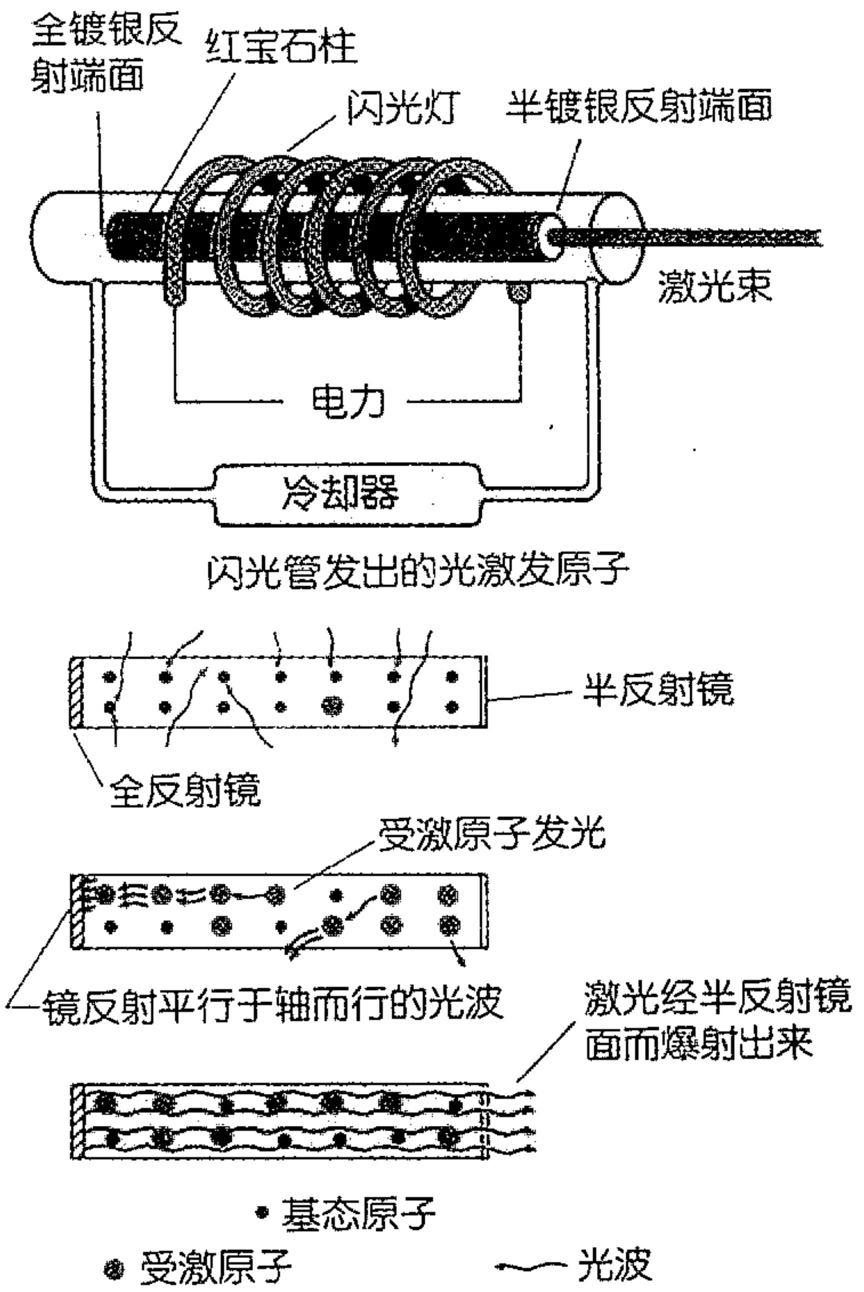
从激光器发射出的窄光束，可聚集到直径小于0.0025厘米的圆面积上。这样的高会聚光柱是如此的强有力，以致可用来在几分钟内在金刚石上打下微孔，而老办法则要用几天时间。超微细的金属丝就是穿过这样的细孔而拉伸成的。激光也能用来焊接这样微细的丝。

激光束可用于精细的眼外科手术。可将一束激光，通过瞳孔准直地射到眼网膜脱落处。激光使该处形成一小疤，而使网膜“熔接”到位。这样做就无需切开人眼了。

激光束标示一极准确的直线。美国加州斯坦福处的斯坦福大学中的直线加速器之建造，就是靠用一束激光指引的。而这3.2公里长的加速器，仍用激光作信号，来检视其中有否离线。

激光有和白光显然不同的一些特点。首先，大多数光

源的光都是边行进边散开的，因而随距离增加而很快地减弱。激光因以平行光束传播，光的散开度很小。

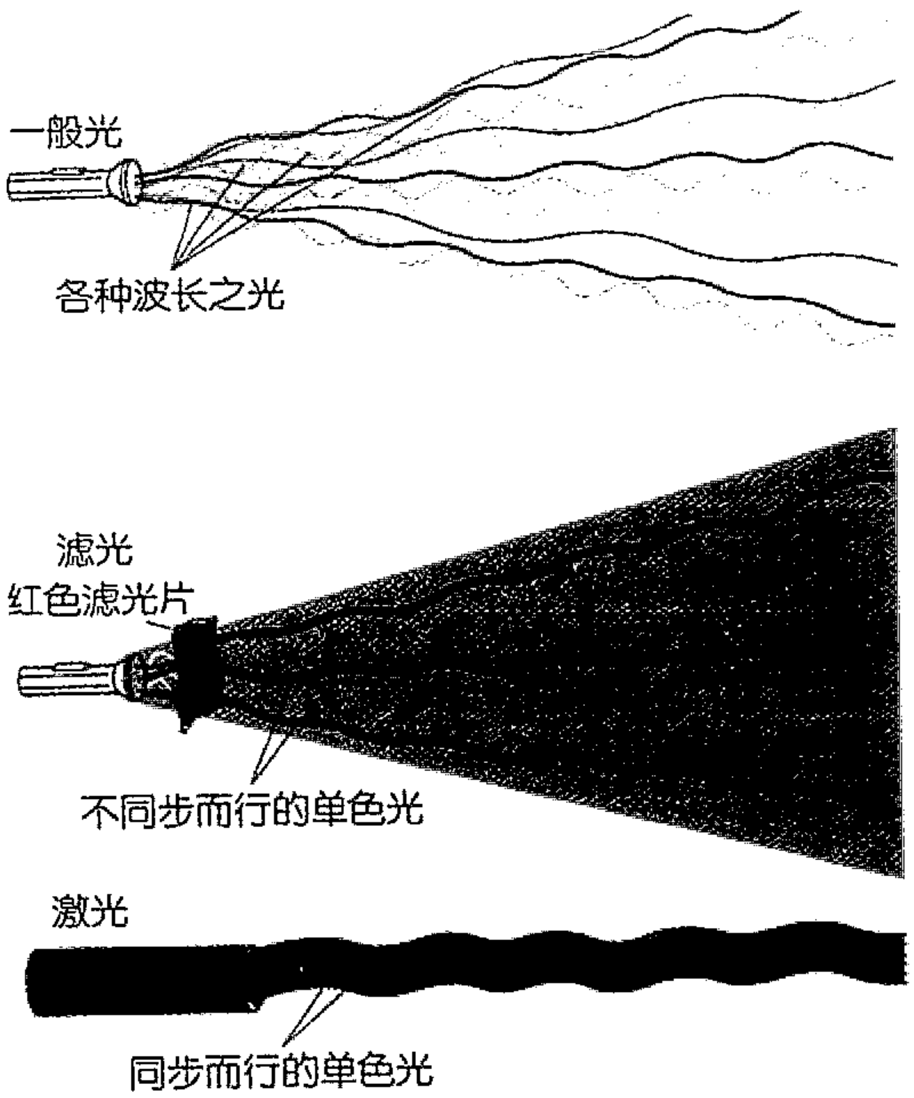


上为红宝石激光器的结构与工作的示意图。闪光管发出的光使红宝石中的许多铬原子激发。当一原子发出的光波射到另一被激发的原子上时，由受激发射而生第二光波。光束便愈来愈强而最后从红宝石柱中爆射出去。

再则，激光是单色和相干的。而白光却是许多颜色光波的复合光（见：光；颜色）。每种色光都有自己的波长。如果把复合光中除一种外的其他所有波长都滤掉，则剩下的便是单色光了。又假如这光中的波都相互平行，则它们就是相干的；传播波彼此之间有确定的位相关系。对激光而言，其波的波峰与波峰相重合，而波谷与波谷之间亦然。因此，其诸波之间都是相互加强的。相干光有一特别的用处就是：它能记录下一种称为全息图的三维的像。

激光器中利用了所谓光波受激发射的放大过程。（产生与原电磁波束同步行进的附加光波而放大光的一种方法。）一物质正常地是由自发辐射而发光。原子上的一电子吸收了能量。当它具有这个能量时，原子便处于激发态。若该电子在不受外界影响下而放弃这过剩的能量（以电磁波，例如光的形式），就发生了自发辐射。

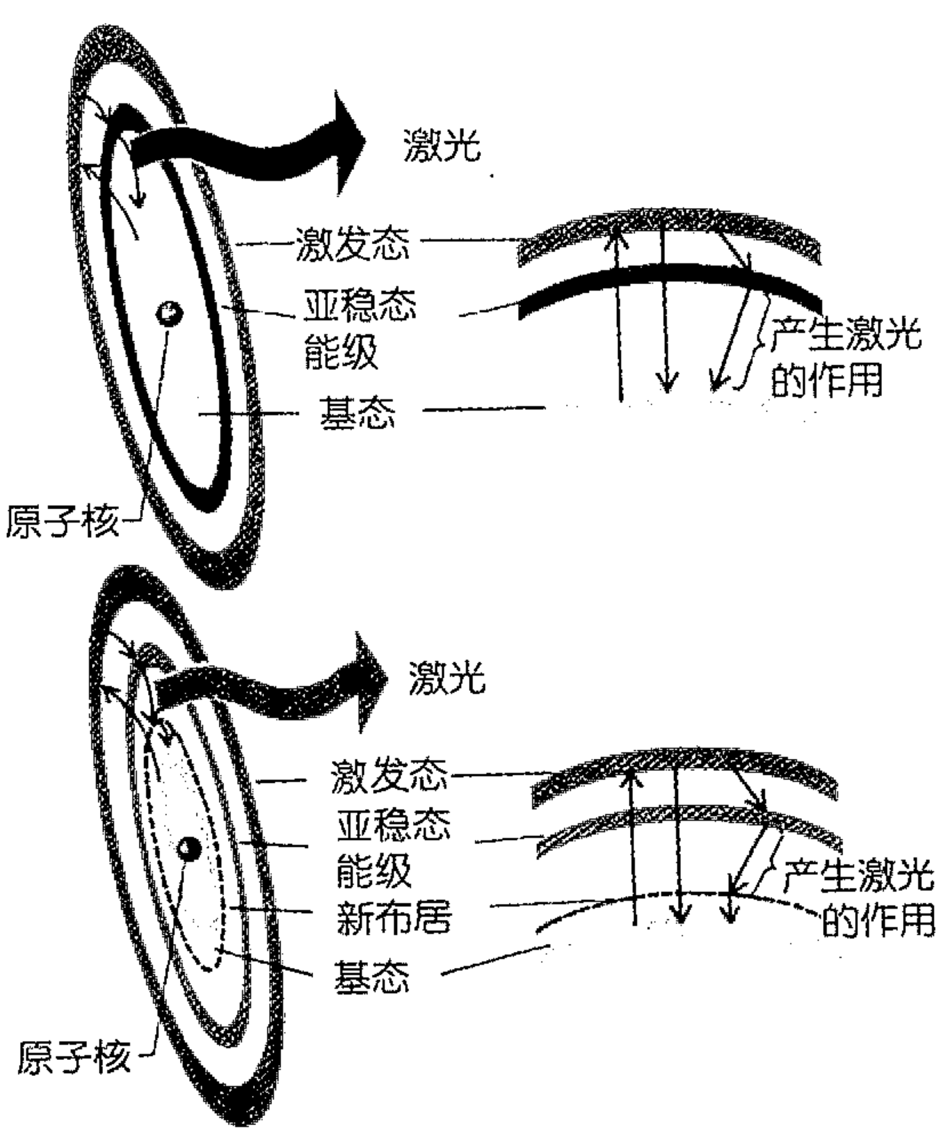
若一受激原子所发之光射中另一受激原子，就会使后一原子发出次波，这次波与前一波平行且同步。这个受激辐射放大了前一个波。若这两列波又射中其他众多的受激原子，就会累积而建立起一束强而相干的光束。不过它若射中未激发的原子，就干脆被吸收掉，而失去放大。对地球上的正常物质而言，其中绝大多数的原子是未激发的。若其中受激发的原子数目反常地增多，则受激发射而不被吸收的概率就会增大。



白光中包含许多波长之光。加上一滤光片则只有一种波长之光通过（单色光），但较原光束的光强为弱，而激光器产生的（激）光则是单色而又相干（同步而行）的。

美国物理学家 G. 古尔德于 1958 年发明了激光器。但第一个红宝石激光器是在 1960 年由 T. H. 梅曼做出来的。该装置包含一柱状的人工红宝石，在其一端镀上全反射银层，而在另一端镀上半反射银层。红宝石中含带杂质铬的氧化铝。有些铬原子吸收了蓝光而先激发，接着就先落到一亚稳态能级上，而最终落回到（未激发的）基态、发射红光。闪光灯的光进入红宝石而激发多数的铬原子，其中有不少迅速地落到亚稳态能级上。于是有些原子便发出红光而返回基态。这红光射中其他被激发的铬原子，而促使它们发出更多的红光。这两束在镀银面之间来回反弹，直到它获得足够的能量，冲出半镀银面而成激光。当大多数铬原子返回到基态时，它们吸收光，而使发激光的工作停止。在连续发光的激光器像氦-氖激光器中，它由电子跳到一较低的激发态而发光，形成了一个不吸收激光的新原子布居，而不回到基态。

在 1953 年，C. 汤斯造成微波激射器时，首次成功地用了受激发射的原理。他促使受激的氨分子发微波。氨分子发射愈来愈多的微波，直到从容器发出了一放大了的微波脉冲。氨微波激射器用于卫星通讯中。



当一红宝石激光器（顶部）的原子发光后，它们回到了基态，然后可以再吸收光。在氦－氖激光器（底部），原子在一较低的激发态上，形成了一不吸收激光的新布居。

微波激射器　MASER　见：激光器和微波激射器

相对论　RELATIVITY

爱因斯坦的相对论一直屹立于科学的突出成就中。该理论迫使人们修正关于时空的一切基本观念。相对论改变了许多自然定律原来的陈述，包括牛顿万有引力定律在其中。相对论还给予科学家们一数学框架，以供对原子的研究和使核能释放。

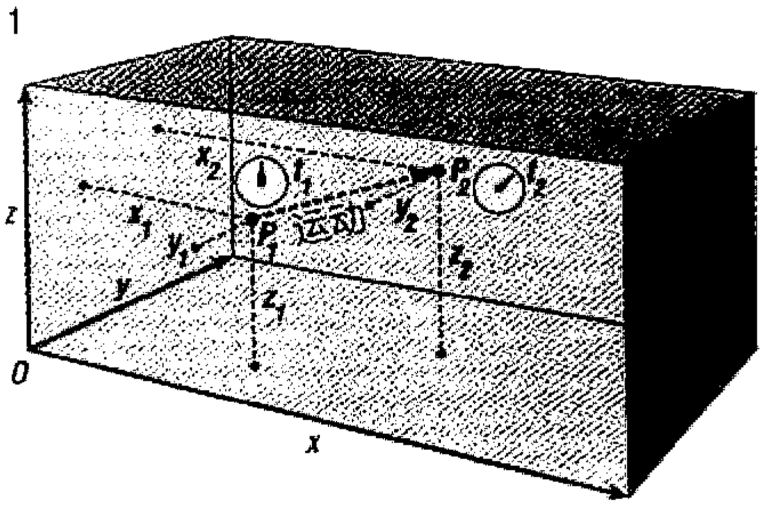
早先，曾有传闻说当时世界上只有一打人懂得这些革命性理论。此说难免有言过其实之处。当然，相对论中确用了一些高深的数学。但现在已有成千上万的科学家懂得相对论；而一般人经深思熟虑后，都能掌握相对论的要领。

爱因斯坦的思想是从（当时）科学上的一系列（特别是光）的难题发展起来的。在那以前多年，科学家们都认为光是靠一种叫以太的不可见而无重量的弹性介质而在空间传播的。他们认为地球在以太中漂移，而在 1887 年曾由 A. A. 迈克耳孙及 E. D. 莫雷对这种漂移作过测试（见：**迈克耳孙**）。可是并未发现这种漂移。若光是由以太传播的，则地球就似乎静止在以太中。

解释以上结果的所有尝试中，荷兰物理学家洛伦兹所提出的最有希望。他提出：在以太中运动的物体都会沿运动方向缩短。如果这使迈克耳孙实验的仪器缩短到正好，则实验就会是零效果。

正是这一主张引起人们对科学测量的确定性产生了怀疑，从而引出了一些设法测出这种缩短的尝试，可都未成功。留给科学家的是怀疑一切测量的准确性的不安心情。直到 1905 年由爱因斯坦提出相对论后，这个问题才有了答案。

图 1



相对论的概念是难于掌握的。本例则是常用来简易地说明相对论的。描述三维空间中的运动，一观察者要选一原点（O）来进行测量。然后做过原点的三条互相垂直的线。线 x 为空间的长，y 为宽，z 为高，而这个空间则要大得足够容纳这运动。通过测量任一点到以 x，y，z 为边的立体的三个平面的垂直距离，来确定该点的位置。这便提供出一个参考系。

现假定在时刻 t_1 时，一物体的位置为 p_1。在 t_2 时，该物体运动到位置 p_2。这运动可用两组测量（结果）来表示——x_1，y_1，z_1（t_1）和 x_2，y_2，z_2（t_2）来分别代表这两瞬时的空间位置。

爱因斯坦对本问题的处理

爱因斯坦一开头就对通行的测量运动的方法提出了质疑。这种方法如图 1 所示。一静止的观察者可用他的参考系直接考察运动。而一个运动着的观察者则必须依靠与他同行的参考系来测量运动，然后再将其自身的运动和静止的参考系来比照。这样，如这个静止参考系在时空中始终不变，则会由此得到运动的真正记录。

当时，其他科学家都认为：真空空间所提供的参考系是始终固定不变的（除了洛伦兹的干扰主张外）。可现在爱因斯坦却要问：对这点我们能肯定吗？我们面临了一个难题，尽管尽了最大努力，我们仍无法在这样的参考系内做出答案。因此，不如就考察参考系的本身，看看它是否如我们所想像的那样健全合理？

由于长期以来人们不加思索地接受了三维空间与时间的单向进程，乍一看来，爱因斯坦的提议似难以理解。但举一简单的例子，便足以表明我们原来假设的时空不变性是为什么和怎么出问题的。

假设在实际三维空间中的某处有一大平面，其上住有点状的生物，他们只接受其平面上 x－y 坐标的二维空间。姑且称这些生物为“平地居民”（是描写他们的一本闻名读物的书名）；现在让我们随着这样一位平地居民去做些实验。

平地面和弯曲地面中的实验

假定他(指一平地居民)从平地上的A城沿直线走往B城如图2所示。他以均齐的步伐边走边用一米尺来测量距离。他共走了100天;而用米尺得出两地相距为1 610千米。

现在他再用别的方法来测试。他用雷达发射器要接收从A反射回来的雷达信号,发现波过两地的单程时间为$\frac{1}{186}$秒。由于雷达信号以光速(每秒300 000千米)行走,这就是说AB两城间相距为1 610千米。因此雷达测试就肯定了用米尺测量所得到的结果。

现在再设想这生物到了一巨大空心球的球表面上,该球的半径大小可与地球的半径相比拟。因该球处于三维空间中,故无线电信号可在这空间中穿行。前文的"平面居民"迁到这球面上后不能体会到这点或他目前的真正处境;他仍习以为常,因为巨球球面的曲度看来像是平直的。假定我们称他所处的新环境为弯地,接着来看看他重复前法来测弯地上C和D两城间的距离会有何结果。

图2

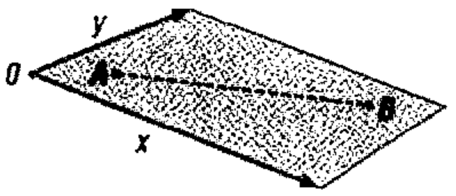


图3



生活在一平面(平地)上的点状生物要想测A、B两处之距离(图2)。本文中说明这是如何轻而易举地做到的。而对生活在一空心球面(图3)上的平面居民,则C和D间的距离为大圆的一段弧长。而真正的最短距离则通过球的内部空间。一雷达信号在C与D间在球内行最短距离。而平面居民则对此无法理解,因为他不知有第三维空间。

这时他不能在C和D间的实际最短线上走。这最短线,如图3中所示,是在球曲面内的第三维空间中。他所能找到CD间的最短距离则是球面上过C、D点的大圆的CD段。

假定他从C到D行了120天,而测得两地相距为1 930千米。接着他再用雷达来测试,所得结果却令他吃惊不已。按图3中所示,雷达信号沿实际最短距离来回而得出的测距结果只有1 610千米。

出了这样的怪事——他能怎样解释呢?首先,他会以为他的米尺与时钟都是正确无误的,而雷达信号出了什么问题。但这一定要失败,因为他根本就想不到真正发生的事——就是,雷达信号离开了他的二维空间的世界,而在他所不知的第三维空间中穿行。接着,在他的初次解释失败后,他便承认雷达测试是正确的,而改变其他测量使两者一致。他可以认为从平地到弯地,他的米尺缩短到使原来的1 610千米变成了1 930千米(这相当于洛伦兹收缩)。他还得假定他用来测量时间的每一天都变短了,使他计算的天数从原来的100天变为120天。这样一来,他所有的测量结果都相互一致了。

以上的难题只不过是他从平面到曲面的实验中所引起的许多难题中之一。也许最使他奇怪的是:只要他一直向前走足够远,就会到他家的后门。这事所以会发生是由于他原以为的平面空间,实际上是封闭而有限的。他误认为直线的大圆,其本身就是闭合及有限长的。

现在假设有些"平地上的爱因斯坦",实属数学天才,来研究这些事。纵然他也只能感觉到二维空间,但在研究问题中,他要用多少维就可以用多少维的空间。这样,利用缩短了的米尺和天数,他就想出了一种解释。这不但解释了雷达信号,而且解释了在更长途旅行上会出现的一些大得多的难题。实际上,他的解释包括了对一切发生在三维空间的事件的处理。这就非要用数学方式来表达不可,因为他和其他的平地居民都不能靠不见其存在的真正三维空间来想问题。

爱因斯坦的基本建议

爱因斯坦的建议更是对迈克耳孙-莫雷实验的处理进程。在这测以太漂移的实验中,科学家们都料想迎着地球运动的仪器中的光速是会加快的。仪器中的新光速就会是原在真空中的光速加上地球迎向它的速度之和。

但实验者未曾看到这些效应。不管相对地球运动的方向如何,光速总是显得是一样大小。这样,仍保留以太而又能解释这实验的机会就不复存在,因为找不到有洛伦兹收缩的证据。因此,科学家便只有接受别的解释。由于光速始终不变,则必须使运动中的测量为可变的,这样方会使从问题中推算出来的依然和观察事实一致。

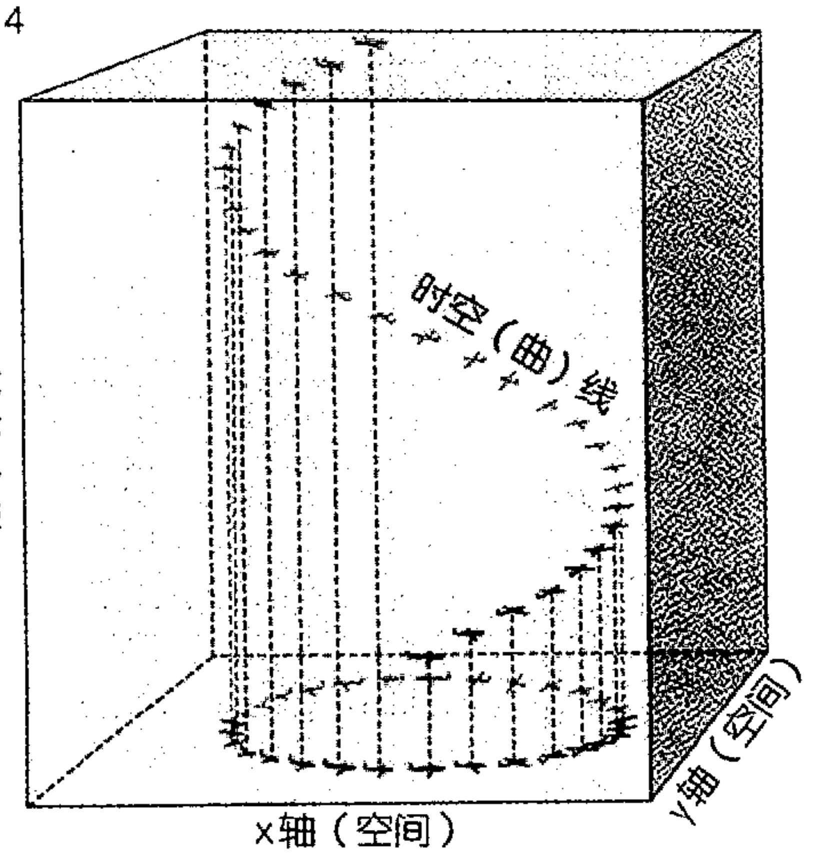
时空可变性

以上就意味着:要采纳洛伦兹收缩(相应于平地居民的米尺缩短),除非爱因斯坦去掉无法证明的特点。洛伦兹曾提出过物质的收缩,但这未曾被发现。而爱因斯坦则提出空间本身的大小,就是随观察者的速率大小而变的。

接着,爱因斯坦就证明了:平地居民的第二种解释也是应予接受的。他以鲜明的数学论据证明了:若光速不变,则人对时间的测量也要变。

乍一看来,这似乎否定了科学中的一切确定性。要是测量所用的单位是可变的,那怎能测定运动的速度呢?爱因斯坦说这很容易。自然界还有一不变的事实——光速为一常数。其他的速度都可用光速的分数来表示。有适当的"修正因子"可用于运动问题中发生的各种时空测量。

图4



对在一定高度绕圈子的飞机的飞行记录，是一条时-空螺旋(曲)线。由于高度不变，因此就用第三维空间(Z)来表示时间。

爱因斯坦还有一件大事要做。就是"修正因子"应取何种数学形式，使对运动的计算方能和观察的事实相一致。为攻下这问题，爱因斯坦以为既然把空间和时间都视为变量，他就决定将时空合并为一四维的时空连续统。

不用高深的数学是无法说清他的论述的。连用图例也无法充分说明其意义。因为这得要对四维空间作图，而这是做不到的。但却可用一仅限于是三维空间的例子，来很好地说明这种连续统。

今先考虑有一飞机在空中等高面上转圈。注意，此时只要用 x－y 的二维空间，就可录下飞机在天上陆续变化的位置了。第三维(z)则可用以来代表时间。于是便可建立一三维的连续统如下：

从下面每隔 1 分钟对飞机拍照 1 次。将这些曝光底片显影后按前后顺序摞起来。然后，将飞机的陆续位置连成一连续线。这一摞摞的像片可以称其为一三维连续统。连接飞机位置的线是围绕时间(z)轴上升的螺旋线，这表示在一维时间上飞机的二维空间的运动。

这种线形成了爱因斯坦论述的核心(除开他所发展的在四维连续统中的线外，这只有数学式上的意义)。它的美名叫世界线。在四维的连续统中，运动体的轨迹，像飞机的航线、行星的轨道及光线的行径等，均属世界线。

他剩下来的工作就是将以前为人所接受的自然定律用世界线来重新陈述，而看后者是否符合乎所有的观察事实。在这点上，他取得非凡的成功。

他的方程与公式发挥了完美的作用，而且从这些方程和分析做出的预言结果和旧理论说的有差异外，实验总是证明爱因斯坦的公式是对的。

爱因斯坦的四维连续统中运动的理论，就是众所周知的狭义相对论。而在广义相对论中，他将上述工作推广而包括了其他现象。

爱因斯坦的引力论

广义相对论最突出的成功就是对万有引力的新解释。自牛顿之日起，万有引力就因其对所有物质都有作用，而立于所有其他的自然力之外，所有他种力的作用是随物质的种类而变的。数不尽的想解释这个区别的努力都未能成功。

爱因斯坦尝试循截然与上述不同的途径来探索。他的方法又是数学的，而且只能以此方式做一完全的解释。但其大意则相当于：物质使连续统发生弯曲，其程度由物质所在处具有的质量来决定。因此，在其附近世界线上的一切运动将循此弯曲度而行。

对这种弯曲的回应，在计算问题中，和对牛顿万有引力的回应，其结果通常是一样的。但对光则有些不同，在每种情况中都以爱因斯坦理论的效果为佳。就说一件事，广义相对论澄清了水星行星在空间运动出现的一难题。水星绕日作椭圆运动；而椭圆本身却以每世纪 547 秒的角度(约$\frac{1}{6}$度)绕太阳进动。根据牛顿理论计算的结果，运动比实际值小 43 秒而无法加以解释。而从爱因斯坦理论所得的计算结果则是完美无缺的。

质量与能量，光和"弯曲空间"

将旧的自然定律转变为相对论的形式，爱因斯坦发现必须将质量(物质)和能量，按照定律 $E=mc^2$，当成互相相当的量。这公式无疑是原子核研究中的无价之宝。(见：**核能**)

相对论的另一胜利则联系到光。要是世界线非沿空间弯曲度不可，经过太阳附近的光线就应略有偏折。这种星位偏移的预言，已为 1919 和 1922 年日食的观察所证实。

这理论的又一成果就是星光谱线的红移，这是恒星的巨质量将其光"向后拖"的结果。这效应和由于膨胀宇宙引起的"红移"实难加以区别(见：**天文学**)。但这一预言现已得到有力的证实。

最后，爱因斯坦系统地阐述了宇宙中的物质按某种方式分布的概念，这就会使所有的世界线都有足够长度弯曲成闭合曲线。因此空间是弯曲而封闭的，正像对"平地居民"的"弯曲地面空间"那样。

有些广义相对论的预言还有待最后落实，其中包括黑洞和类似电磁波那样的引力波的存在。在 20 世纪中，有不少科学家想把相对论扩展到能说明所有力的单一理论，即统一场论。爱因斯坦本人在其晚年，曾力图将电磁力与引力沟通而未能成功。(参见：**黑洞**；**宇宙学**；**爱因斯坦**；**量子力学**；**统一场论**)

撰文：F. Wagner Schlesinger

第四维 FOURTH DIMENSION

见：**相对论**

力学 MECHANICS

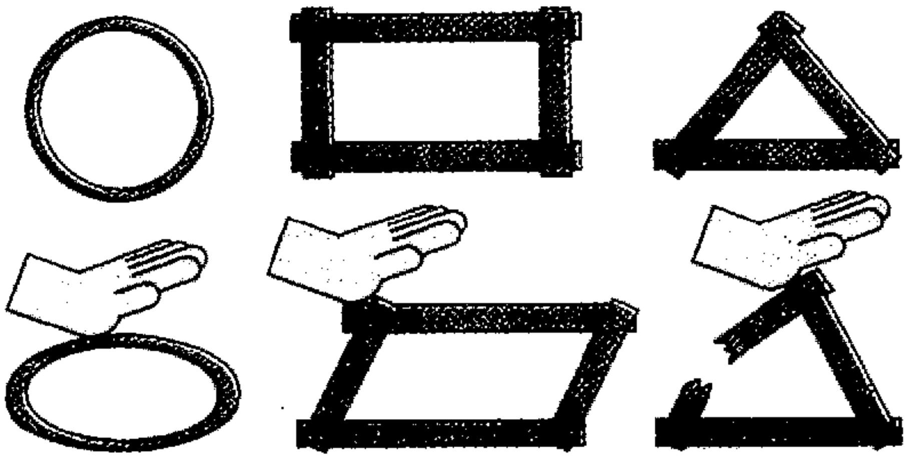
汽车的加速、射击时枪

身的后坐、宇宙火箭的运动和自旋陀螺的作用等都能通过力学这门科学进行分析并得到理解。某些普遍原理或自然法则对所有这些作用都适用。这些原理组成力学科学。力学研究物体在力作用下的行为；而且无论物体是大还是小，是固体还是流体，是静止于地面还是飞行于太空，都可应用力学的各种定律。

研究静止或匀速运动物体的力学领域称静力学，而研究变速运动物体——即运动状态不断变化的物质——的领域称动力学。动力学的下层各分支一般用专门名词表示。例如，流体力学是关于低速液体和气体的动力学；气体动力学研究气体的高速流动；材料力学研究物体在载荷作用下的应力和变形。

工程师必须熟悉力学诸定律才能为建筑物和构筑物（如房屋和桥梁）提供适当的支承物。这些建筑物和构筑物看来好像不动，但是经常有许多力作用在它们上面使之运动和变形。房屋必须能抵住重力恒定的向下拉引；桥梁必须能承受住加在其上的重载。为了抵住这些外力，营造人员提供一些支承物，如拱、扶垛和由一些三角形框架构成的称为桁架的网络结构。桁架非常牢固，因为构成桁架的材料发生显著变形或破坏之前，那些三角形框架能强有力地抵抗弯曲、拉伸或压缩变形。

一般而言，经典力学的法则不适用于接近光速运动的物体。在上述情况下，需用相对论才能正确描述物体的行为（见：**相对论**）。类似地，大量极小物体——分子尺寸或更小——的行为可用统计力学和量子力学做最佳的描述（见：**量子力学**）。在本文中所用的力学一词适用于刚体，或在外力作用下形状不变的物体。

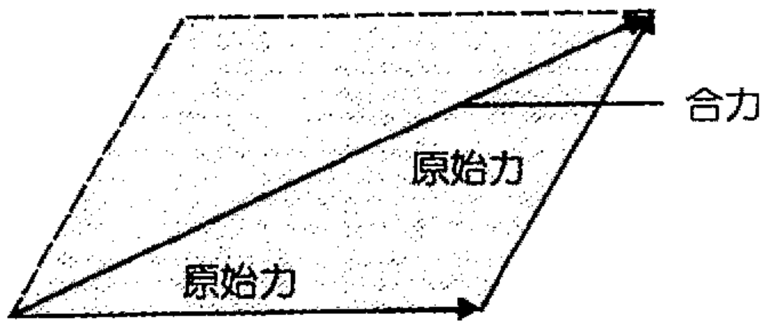


三角形是高强度的结构形式。圆环和矩形都易于变形，而三角形只有将制成它的材料折断，才能改变它的形状。

力

科学家将力和速度看做矢量。矢量用箭头记号表示，它们代表的那些量既有具体的值——大小或强度——又有方向。例如，速度不但有大小，而且还有方向。虽然速率和速度这两个词可互相交换使用，但是严格地说，速率只是速度矢量的大小。知道物体的速率和它的运动方向，才能完整地描述它的速度。例如，拴在细绳一端的石子绕细绳另一端作圆周运动，尽管石子每分钟的转动次数不变，可是石子的速度还是在变化。石子的速率为常量，但是它的运动方向、它的速度、连续地改变。作用在石子上使其速度改变的力是另一个称为向心力的矢量。其大小等于绳中的张力值，其方向沿石子所走圆形路径的半径而指向圆心。

同时作用于同一点的两个力同单个等效力有相同的效应。这个合力的大小和方向可用以下方法得出：使原始的两个力矢量首尾相接，从第一个矢量尾画向第二个矢量首所得到的新矢量就是合力矢量。类似地，两个矢量也可利用平行四边形法相加（见图）。



同时作用于同一点的两个力（原始力）与一个单独的等效力（合力）的效应相同。以两个原始力矢量为邻边所构成的平行四边形的对角线给出合力的矢量。

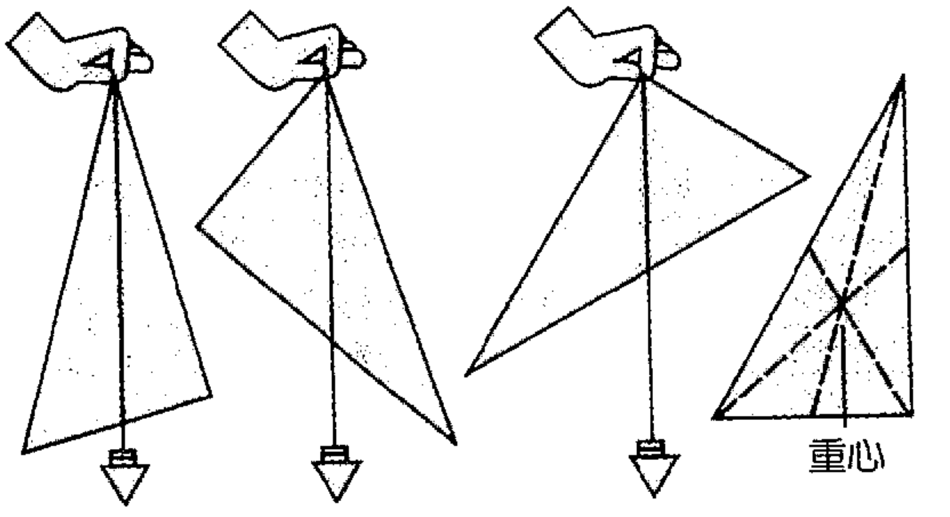
一些同样的力，因它们的作用方式和作用的物体不同，可以产生不同的效应。例如，以某种方式作用于物体上的力，可使物体自旋或转动。作用在物体上使其转动的力的趋势称为转矩或力矩。转矩的大小可由力在垂直于转轴的平面上的分力乘以此分力的作用线到该轴的垂直距离算出。

阻碍物体沿路径运动的力或反抗转动的转矩称为摩擦。摩擦力和摩擦转矩都是被动的，而且不单独存在。它们只是在有其他力作用或物体已在运动时才会出现。摩擦可能是不受欢迎的，如就空气阻力而言，它可使飞机速度降低；摩擦也可能是有用的，如就车辆制动器而言，它可借助摩擦使车辆减速。

重心与平衡

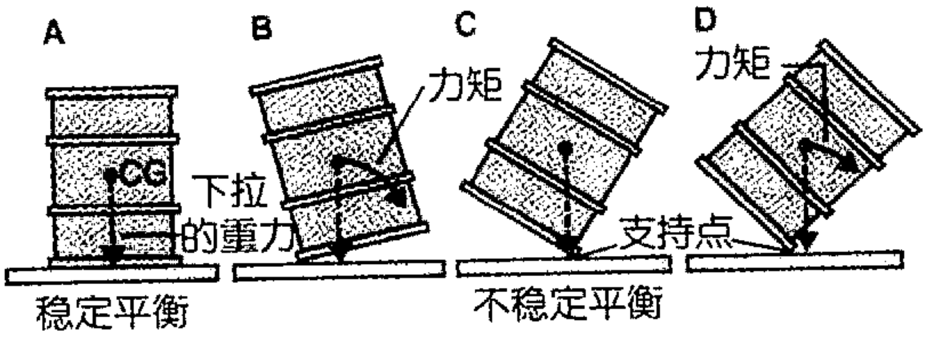
为了将力学诸定律应用于一特定物体，科学家们一般将该物体设想为一自由体——他们将物体与其周围环境隔离而只考虑作用于该物体上的力。这样就可通过排除同所研究问题无关的外力和影响而将情况简化。科学家们通过对物体重心而不是整个物体行为的研究，使问题进一步简化。在许多力学情况下，一个固体的重量可认为集中在一点上，该点称为固体的重心。作用在固体全部体积元上的所有重力看来好像作用于固体的重心上。因而一旦找出重心，在重心处的支承将决定固体在各种力的作用下将会有什么反应。例如，如果作用于物体的下拉重力等于向上的支承力，则物体的重心将保持静止。作用线不通过物体重心的力产生一个转矩。确定平面重心的一个简单方法示于后面的图中。

物体不可能完全静止，除非使物体重心沿某个方向移动的全部力和作用在物体上的全部转矩是平衡的。一旦存在完全的平衡，则称物体处于平衡状态。在这种情况下，作用在物体上的所有力和转矩的总和必等于零。利用这个法则，科学家可对作用在平衡物体上任何数目的力建立方程组。然后，他们就可以择要研究平衡力系各力分量之间的关系。

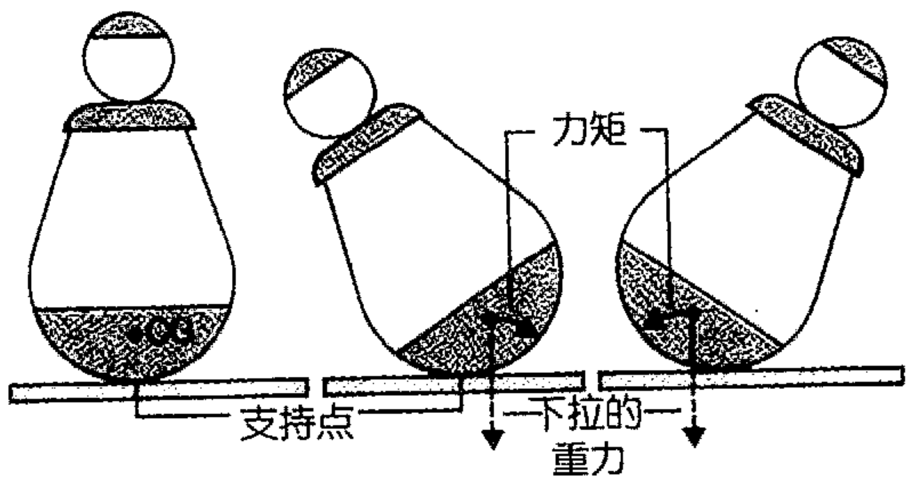


平面三角形的重心可通过轮流悬挂图形的每一个角而找出。与悬角连接的铅垂直线在图形上标出一条向下的直线。标出的三条直线将汇交于一点——重心。

一个平衡的物体的实例是被两条分别钉在相对墙壁上的细绳自由悬起并处于静止状态的物体。物体铅直向下的重量被两悬线张力的向上分量所抵制，而两悬线张力的侧向分量必然相等。因而，已知物体的重量，就能确定两悬线张力的垂直分量和水平分量。



当圆桶的底面平放在地面上，其重心(CG)被稳固支持，圆桶是稳定平衡的，如果圆桶向任一侧稍微倾斜(B)，作用在重心的下拉重力，产生一个绕新支持点的转矩或回转力，使圆桶拉回到稳定位置。在其边缘(C)处平衡的圆桶处于不稳定平衡，一个微小的重心的位移使圆桶更远离它的不稳定位置(D)。



在直立的不倒翁中，被加重的底部重心(CG)位于支持点的上方。不倒翁倾斜时，重心离开支持点的上方。放松不倒翁，作用于重心的重力产生一个使不倒翁从支点回滚的转矩。当到达直立位置时，惯性使它继续前滚。不倒翁左右滚动，最后停止在直立位置上。

平衡的物体可处于三种平衡——稳定平衡、不稳定平衡或随遇平衡——状态中的任何一种状态。若物体在转矩作用下有返回初始位置的倾向，则它是稳定平衡的；若有转矩停止作用后，物体继续转向新的位置，则它是不稳定平衡的；若撤掉转矩后，物体可停在任一位置上，则它是随遇平衡的。

牛顿三定律

经典力学受三个基本原理支配，它们是由 I. 牛顿在 17 和 18 世纪首先提出的(见：**牛顿**)。这些原理即所谓牛顿三定律。下面是描述物体基本性质(称为惯性)的牛顿第一定律：

1. 物体保持静止或匀速直线运动状态，除非作用于其上的外力强迫其改变这种状态。

根据这个定律，运动的物体，就其本身的惯性而言，将保持同一速率并在同一方向继续运动下去。因此，不受任何外力驱动的物质的粒子(或甚至星体)将永远在真空空间中飞行，除非有一些东西强迫它们改变其运动状态。

牛顿第二定律描述力迫使运动变化的方式，即产生称为加速度的变化率。这个定律可叙述如下：

2. 运动的变化同作用力成正比，且发生在沿力的作用线方向上。

这个定律常用另一不同的方式表述：作用在物体上的净力等于物体的质量同所得加速度的乘积。这个定律可以更简单地用公式表示为：$F=ma$，式中 F 为力，m 为质量，a 为加速度。然而，用文字表述这个定律，可以弄清外力是怎样作用的，即外力仅迫使物体的运动——它的速率或方向——在力的作用方向上发生变化。

牛顿第三定律可叙述如下：

3. 作用和反作用是相等且相反的。

这个定律常表述为：对任何一个作用都有一个相等和相反的反作用。此定律说明这样一个事实，即如果忽视这个定律，就会推翻许多预料的结果。

例如，此定律阐明：一个人不能通过拉自己的鞋袢而将自身提起。因为他向上拉其鞋袢时，鞋袢也要向下拉他；作用和反作用是相等而相反的，它们都作用在人身上。作用和反作用的一个引人注目的现代实例是喷气推进。

质量、力和加速度

质量是物体中物质的总量。通常用秤测量物体的重量或重力对物质的拉引(见：**万有引力**)。物体的质量保持恒定，而其重量取决于作用于该物体的重力拉引。例如，物体的重量在月球上比在地球上小得多，因为月球重力对物体的拉引比地球重力对物体的拉引小；而在遥远的太空中，物体的重量接近于零。在米制单位中，质量的单位是千克(kg)，力的单位是牛顿(N)。美国采用的传统单位制可能造成混乱，因为力和质量都用同一个单位——磅(lb)——来表示。在这种情况下，以磅表示的重量必须除以重力加速度才能得出质量。

加速度是物体速度的变化率。按照牛顿第二定律，加速度是力作用的直接结果。例如，假设沿直线行进的汽车

在某秒的速度是30千米每小时，而经过1秒后，车速为34千米每小时，且方向不变，则在该秒内，物体获得约1.1米每二次方秒的加速度。速率的变化可包括减慢和加快。许多人称减低速率的快慢为减速度。

惯性使物体的运动不但保持同一方向而且保持同一速率，因此迫使物体改变运动方向就要有加速度。强制力可以是持续的作用力（如重力），也可以仅仅是约束力（如作圆周运动的石子所系绳中的张力）。物体绕轴转动的速率称为转速或角速度，通常以每分钟的转数来计量。非常慢的转速可用每小时的转角来计量。

动力学中的一个基本性质是动量。物体的动量是物体质量与其速度的乘积，即 M＝mv，式中 M 为动量，m 为质量，v 为速度。当一运动物体同另一物体相撞时，碰撞前后的总动量相等。这个动量守恒原理是自然界的基本定律。

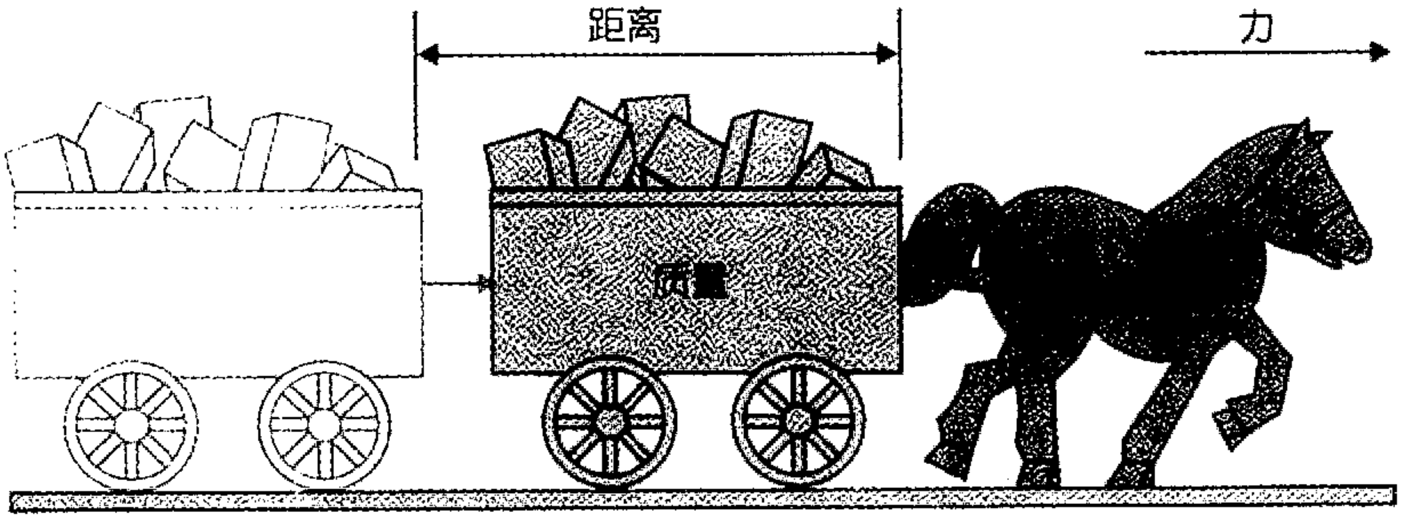
开枪前，子弹和枪体都不动，总动量为零。开枪射出的子弹在一个方向上获得巨大的动量；依照动量守恒原理，枪体应获得一相等且相反的动量，从而使开枪人感受到一个后坐力。枪体和子弹相等且相反的动量之和等于零，就同开枪前一样。

功和能

当力使物体运动时，力与物体沿力作用方向移动距离的乘积称为力对物体做的功。虽然功有许多普通的含义，但物理学家总是在限定的意义下使用它。

能是做功的本领；假如对一物体做功，则该物体的能量增加。例如，若对物体做的功增加物体的速率，则物体凭借其运动又转过来有做功的本领。同运动有关的能称为动能。物体的动能（Ek 等于物体质量与其速度平方的乘积之半 $Ek=\frac{1}{2}mv^2$）。在动能之外，还有许多其他形式的能量，而且能量可从一种形式转换为另一种形式（见：能量）。绷紧的器械如弓或弹簧，具有另外一种常见形式的能量。虽然弓或弹簧是静止的，但蕴含引发运动的潜能，即因其位形而具有势能。

提升重物是功和能之间关系的一个实例。当提升重物时，要反抗地球重力做功。相对于它的起始平面，物体的势能增加，并有比以前能做更多功的本领。例如，将1千克质量的物体从地面提升到10米高度需要98.1牛顿的力。（这个值可从牛顿第二定律 F＝ma 中算出。）因物体的质量为1千克，地球的重力加速度为9.81米/秒^2，所以由重力产生的向下作用力为 1×9.81＝9.81 牛顿。为了抵抗这个向下的作用力，需要施加一个同样大小——9.81牛顿——的向上的力。因而，提升物体所做的功以及由此导致物体增加的势能为力乘以高度，9.81×10 或 98.1 牛顿·米。现在如让物体落回初始平面，则这个势能将被转换为动能。



马正在用力拉车，马做的功等于马的拉力乘以马拉车行进的距离。这个功克服车轮和路面间的摩擦后，维持了马车的动能——马车的质量乘以速度的平方的一半。

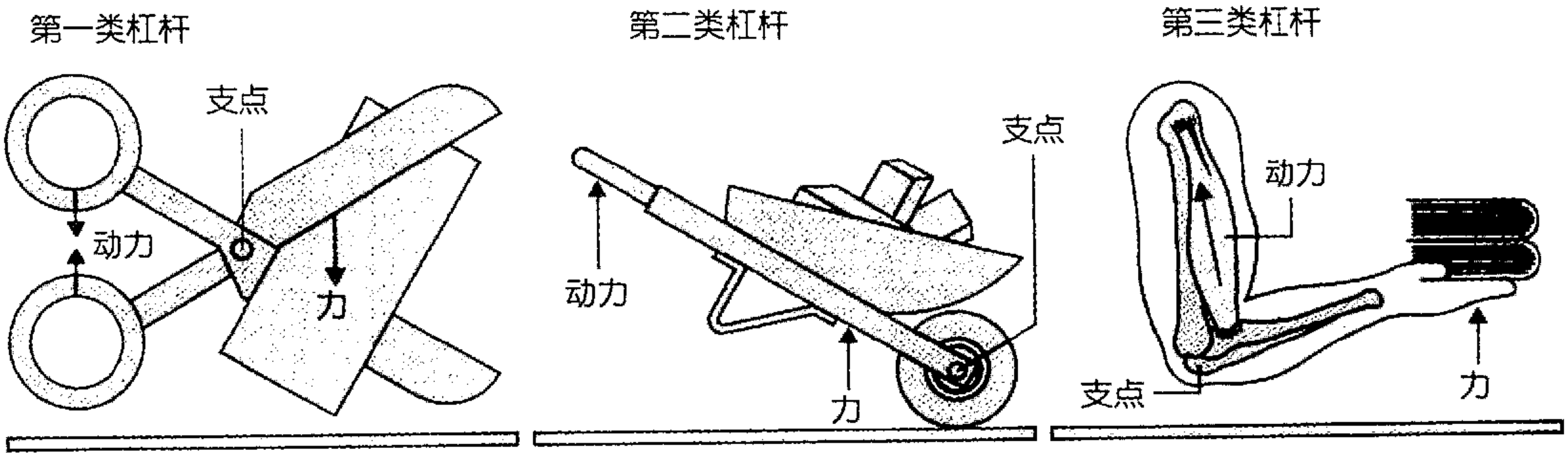
简单机械

很多力学原理在简单机械中得到清楚的说明。许多这些机械自古代以来就已为人所知，并已进而形成现代机器中很多部件的基础。在这些机械中有杠杆、轮轴、斜面、螺旋和绳-滑轮装置。所有这些机械都是用来扩大力的作用或做功——即为了使物体运动或克服阻力而在物体运动的路程中施力于物体。

杠杆可通过在一端施加的小力而在另一端提升一较大的荷重。它是一个刚性杆，可绕称为支点（F）的固定点转动。施力于杆的某一点（通常称为动力点或力点 E），就会在杆的另外某点（通常称为阻力点或重点 R）产生一个移动重物或克服阻力的作用力。动力点与支点间的距离（EF）称为动力臂或输入力臂，而支点与阻力点间的距离（FR）称为阻力臂或输出力臂。

杠杆的作用首先依赖于动力点、支点和阻力点在杆上的相互位置。在第一类杠杆中，支点在动力点和阻力点之间，撬棍和剪刀就是其实例。在第二类和第三类杠杆中，动力点和阻力点都在支点的同一侧。在第二类杠杆中，阻力点在支点和动力点之间，如手推车中的那种。在第三类杠杆中，动力点在支点和阻力点之间，如手臂那样，当以肘为支点屈臂时即可将重物提起。

一个人可搬动的重量或被克服的阻力值取决于点 E 和 R 绕支点转动所走过的距离。这个原理被认为是理想机械定律：施加于乘以其作用点沿力线方向移动的距离等于输出力乘以其作用点沿力线方向移动的距离。杠杆绕其支点转动时，杆上各点实际上在作圆弧运动，而有关各力作用点的移动距离可从输入力臂和输出力臂的长度算出。

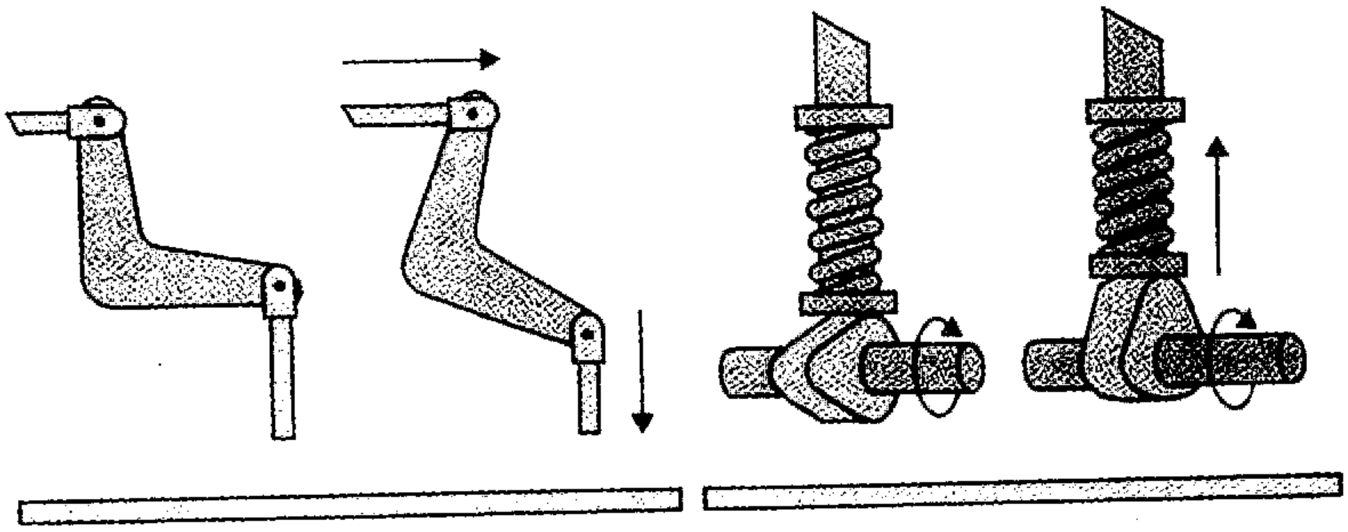


在第一类杠杆中，支点位于动力和阻力之间，杠杆将力作用于阻力点上。在第二类杠杆中，阻力位于支点和动力之间，动力臂长于阻力臂，可在阻力点上产生较大的力，但动力点移动的距离要大于阻力点的移动距离。在第三类杠杆中，动力在支点和阻力之间，移动一个较小的重量需要较大的动力，但速度和移动的距离增加了。

杠杆定律可用于多种情况。对于第一类和第二类杠杆，此定律表明，依靠输入力臂和输出力臂的有关长度可以获得提升重物的有利比率。例如，对于一施加于E点的给定力 f_E，有 $f_E \times l_E = f_R \times l_R$，式中 l_E 为输入力臂的长度，l_R 为输出力臂的长度，f_R 为输出力。如果 $l_E = 4l_R$，则输入力将被扩大4倍——即输出力将为施加力的4倍。每当输入力臂长于输出力臂，杠杆就能通过使一小力移动一定距离而将一大荷重提升一段较小距离。输出力与施加力($\frac{f_R}{f_E}$)的比率称为杠杆的机械利益。

第三类杠杆(如人的手臂)给出不同的机械利益。这里的肌肉只能把肘支点处的前臂拉起一短距离，而全长的前臂则可将手持重物提高一很长距离。还有运动速率方面的利益，因为重物比施力点移动了一个更长的距离。然而，获得此双重利益，肌肉必须相应地施加一个比手持物重更大的力。在第一类杠杆中，使输入力臂短于输出力臂，就能得到与第三类杠杆同样的利益。

在许多通用机器部件中使用一些特殊形式的杠杆。例如，可用绞盘提升重物，施力极小，但曲柄需转很多圈。常用一些曲柄和凸轮将一种运动转换为另一种运动(见图)。

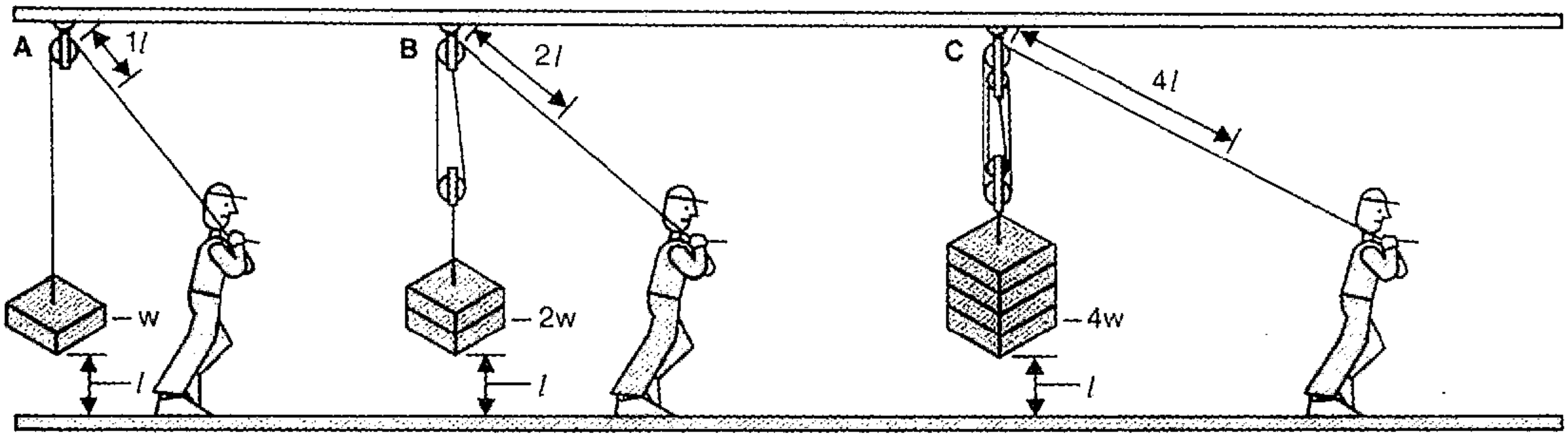


在机器中用曲柄和凸轮将运动由一种类型转变为另一种类型。曲拐(左)将水平运动转变为垂直运动。汽车发动中将凸轮装在转轴上(右)来操作阀杆，在每一圈的一个点上，凸轮推上阀杆，将圆周运动转变为垂直运动。

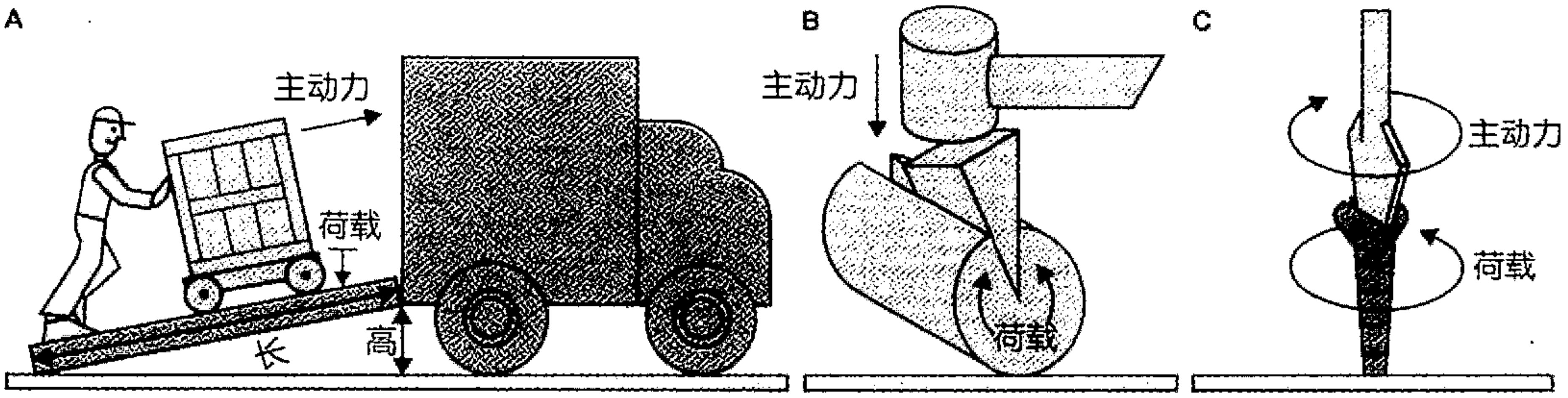
理想机械定律也可以从功和能的方面来阐述：在没有阻力的情况下，施加力做的功必等于输入R处的能。因此，一个机械只能用于增力，而不能用于创造能。一个机械只能把输入的功或能等量地转换为输出的功或能，但施加和传递的力以及力作用点移动的距离可以改变。实际上，因存在摩擦，所以在R点所做的功可能小于在E处消费的功。

绳-滑轮装置是另一种增大施加力作用的简单机械。牵拉绕过一个定滑轮的绳只能改变力的方向，机械利益是1——即拉力必等于重量。另一方面，用一根绳将若干滑轮连接而成的滑轮组，以一些轮子代替杠杆臂。牵拉绳的自由端相当于操纵杠杆的输入力臂，而绕过动滑轮的绳股数就决定所得到的机械利益。每股绳各负担一部分重量：例如，两股绳的每一股各负担 $\frac{1}{2}$ 重量，因此只需相当于 $\frac{1}{2}$ 重量的拉力就可将重物提起。可是，拉力作用点移动的距离必定是重物上升距离的两倍，因为每一股绳都要缩短一段同重物上升距离相等的长度。

决定滑轮组机械利益的一个方法是把同重物相系的那些滑轮隔离出来，通过核点绕过那些滑轮的绳股数(不计直接同重物相连的那股绳)就能得出机械利益。



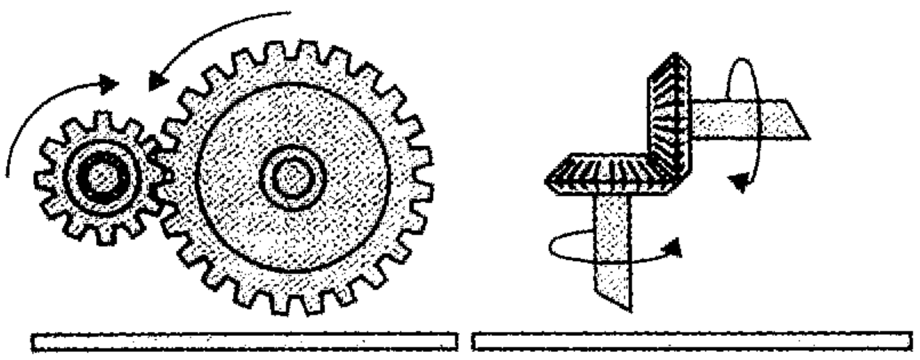
拉动穿过单个滑轮上的绳(A)将重W的物体提升距离l,所施的力必须等于物重W。如果加上第二个滑轮(B),则同样的力可提升重量为2W的物体到距离l。但力的作用点必须移动$2l$的距离。如果滑轮组装配4股绳(C),同样的力可以提起4W的重物,但力的作用点必须移动$4l$的距离。



斜面(A)减小了提升重物所需的动力,代替直接提升重物,可用一个较物重为小的力沿斜面推上。斜面的机械利益是长与高的比值。两个斜面背靠背地紧贴在一起,就构成一个劈(B)。它提供两倍的机械利益。一个中等的向下的力可产生增大的侧向力。螺旋(C)可看成是缠绕在圆柱上的斜面,它有高的机械利益。

另一种简单机械是斜面。当机车把一列货车沿长度为L的路轨推上高度为H的斜坡时,机车所用的力要比把该列车铅垂提升到H高度所用的力小。斜面提供的机械利益等于斜面的长与高之比。两个斜面背靠背地贴在一起就形成一个劈。劈可被用来克服阻力而不是重量,就如劈木料那样:在劈的末端施加一适当向下的力,就能产生增大的侧向力。

螺旋可看作是缠绕在圆柱上的斜面。它可用于抬起重物,也能克服阻力。它可将虎钳的钳口拉在一起而把材料夹紧。



左图是两个不同大小的齿轮(大的24个齿,小的12个齿)可提供机械利益,虽然大齿轮的转速是小齿轮的一半,但能产生两倍的动力,右图中的伞齿轮无机械利益,但可用来改变转向。

齿轮是螺旋的变种。如果它们大小不同,就能提供机械利益。其他一些类型的齿轮如伞齿轮和蜗轮,可用于改变转向。

历史

1万多年前,人们就应用力学定律制造原始工具,但直到公元前4世纪才第一次试图说明运动物体的行为。这项工作主要是希腊哲学家亚里士多德做的。他虽然对杠杆的行为做了部分描述,但对其他物理现象的描述则是不成功的。这个失败有两个原因:其一是,公元前的希腊人没有测量距离和时间的良好工具,以致不能通过实验核对他们的公式;其二是,他们采用了错误的假设而徒劳无功,即他们认为力是维持物体运动的,而不是改变物体运动方向或速率的。

公元前3世纪,希腊数学家阿基米德奠定了近代静力学的基础。他首先推导出简单杠杆的平衡公式和重心的公式(参见:阿基米德)。他对上述公式的推导只限于平行力系;用非平行力系推导公式出现的困难,直到2 000多年以后将力视为矢量时,才被克服。然后在16世纪,荷兰数学家和发明家S.斯蒂文用非平行力系求解了杠杆问题,并说明如何用平行四边形法将力矢量相加。

17世纪初,伽利略把分析方法和实验方法结合起来奠

定了动力学的基础。他认识到重力是一种力，以及作用在物体上的若干力并非总是平衡力系——即它们的净力并非总是等于零。他最著名的实验证实重力对一切物体的作用都是均等的，驳斥了亚里士多德的重物比轻物降落快的理论。他的一些实验说明了很多今天仍被公认的原理：一切物体在相同时间里降落相同距离；物体降落的距离同降落时间的平方成正比，而降落速度同降落时间成正比；力系中任一力对物体的作用都同其他力无关；作用与反作用之间有必然的联系。伽利略在牛顿提出惯性定律之前就已说明，不受外界影响的运动物体总会保持作匀速直线运动。他首先认清，是加速度而不是速度或位置取决于外力。（参见：**伽利略**）

牛顿引进了力和质量的概念，并系统地提出了运动三定律，拓展了伽利略提出的那些原理。他的伟大贡献反映在"牛顿力学"和"经典力学"是同义词这个事实上。（参见：**牛顿**）

随后3个世纪，很多科学家，包括伯努利、欧拉、达朗伯和科里奥利，完善了牛顿力学。他们将牛顿定律用于更复杂的外力组合和三维运动。拉格朗日和哈密顿提出的那些方程在动力学更先进的理论分析上证明是非常宝贵的。力学中广为使用的许多原理都是以这些科学家的姓氏命名的。

20世纪初，爱因斯坦创立了相对性理论，证明牛顿力学不适用于接近光速运动的物体（见：**相对论**）。20世纪还出现了量子力学。量子力学是研究电子、质子、中子及其他构成原子和分子的亚原子粒子的运动的力学分支。

在量子力学原理被发现之前，科学家们想当然地认为原子层次中的运动一定也是用牛顿力学来描述的。然而到了1925年，人们明白了亚原子粒子的运动同受经典定律控制的那些物体的运动有很大差异。量子力学这一学科是一些科学家的研究成果，他们之中有普朗克、玻尔、海森伯、德布罗意、薛定谔、玻恩和狄拉克等。（参见：**量子力学**）

撰文：Verne C. Cutler

量子力学 QUANTUM MECHANICS

德国物理学家M.普朗克于1900年以他所谓的"拼命一举"提出了光量子理论，来解释光发射中的一些难以理解的事实。他提出光只能一小束一小束地发射。例如，一灼热铁块所发的光，实际上是"粒状"的，是由小得看不见的一些"光粒"所组成的（见：**光**）。普朗克把这种"光粒"叫做量子（quantum），这在拉丁语中是"多少"的意思。

普朗克所要解释的神秘事实，是关于某些物质发光的方式。光是电磁波的能量在空间中的运动。而光仅是电磁波中的一种，是由一些极小而带负电的电子的某些运动所引起，它们常是在一密实的原子的核心即原子核的周围的。

普朗克提出：由于某些未知原因，这些电子只能一定量一定量地以量子形式给出光能。它只能给出一量子大小的能量，而绝不能给出不到一个量子的分数能量。这些量子的能量值与光的频率成正比。较高频率的光，如紫光或紫外光，量子的能值比低频率的红或红外光的量子的能值要高。

普朗克对光频率与光量子能值间的关系进行了计算。其中的一个愈大，则另一个也就愈大。他对此导出了一个转换因子，现在都称其为普朗克常数。普朗克常数描述了单独的量子的能量，是物理学中的基本常数之一。

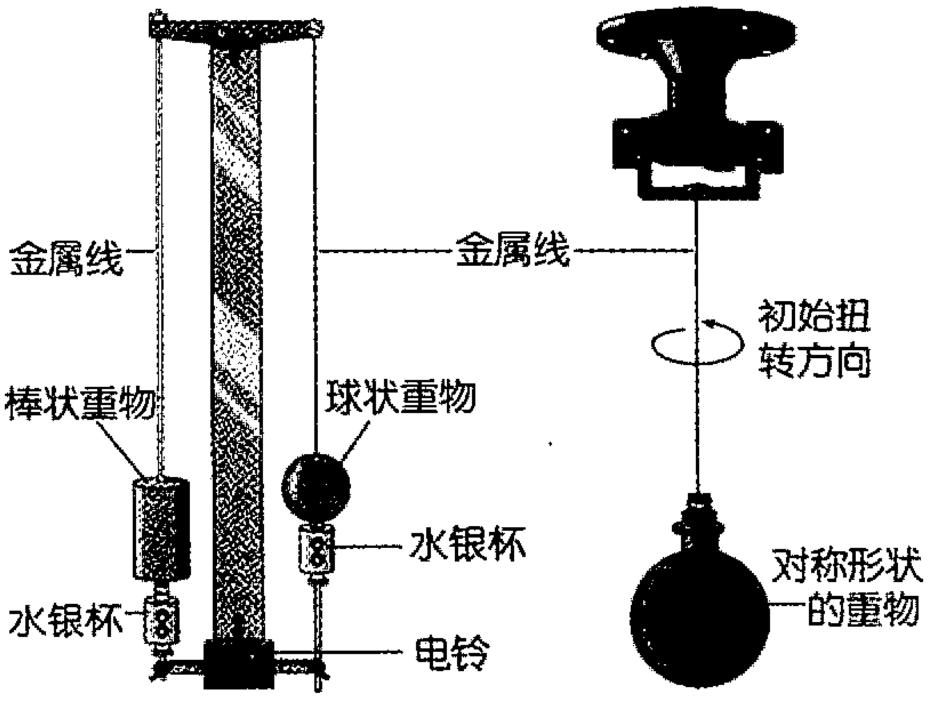
普朗克常数是以能量和时间的乘积来表示的——这个单位称之为作用量——可以尔格·秒或焦耳·秒来给出。1尔格的定义是：将1毫克重量（约为一砂粒的重量）升起1厘米高所需之能量。这能量并不大。普朗克常数（h）的大小约为6.626×10^{-27}尔格·秒。频率为每秒几百万周的电磁波（典型的无线电波）的量子能量的数量级为10^{-21}尔格。一量子的跳跃实在是很小的。诸量子可有各种不同的能量值，但它们都必须为普朗克常数与频率乘积的整数倍。

1905年，德裔物理学家爱因斯坦用普朗克的量子理论解释了光电效应，此效应即当电磁波射到物质上时，后者会发出如电子之类的带电粒子。爱因斯坦提出：电子除发射出电磁辐射量子外，还会吸收量子。爱因斯坦的这项工作证实了：电磁辐射具有波（包含场强的起落）和粒子（由于包含呈分立的包状的电磁能）的双重特性。后来就将这样的"能包"称为光子。

摆 PENDULUM

一种最熟悉的摆是用来控制时钟擒纵件的。研究摆的运动已经为科学提供了许多关于地球的运动及其所受的诸控制力的事实。学生可做几个关于摆的运动的简单实验来检验这些科学事实。为特殊实验目的设计的3种摆示于下图中。

摆的部件



物理摆和单摆（左）的重物，自由地掠过水银，扭摆（右）的金属线的扭转随每一次振动而换向。

单摆由一根细金属线或丝线悬吊着一个集中载重（金属球）组成。如果将金属线绷紧并将球向后拉再松开，则摆将循弧线前后自由地摆动。永远在同一平面里的摆动是由重力引起的。当球继续摆动时，球所经的弧线越来越短，最

终完全停止下来，这主要是因空气摩擦所致。摆动的周期是球在其所经弧线上从某点出发往返一次所需的时间。当摆弧变小时，速率也减少，但周期不变。周期只与重力加速度(g)和金属线长度有关(见：**万有引力**)。因为 g 是常量，如果金属线的长度不变，则周期就保持不变。因而，如已知金属线的长度并准确测定周期的时间值，就能计算出重力加速度。

用于证实地球绕其轴自转的傅科摆，就类似于单摆(见：**地球**)。为了课堂演示，可以做好安排使摆的金属线投影到屏幕上。将摆放开并让其摆动以便在某一时间间隔里进行测量。在几分钟内可以看到屏幕上金属线投影的位移。学生从观测的时间间隔和仪器屏幕上的几何形状及当地的纬度，就能计算出地球的自转速率。

扭摆由一根金属线悬吊着一个对称形状的重物组成。当这个总体以金属线为轴而被扭转时，就发生角振动。这种振动是由金属线中产生的与扭角成正比的扭矩所引起。如果测出扭角和角振动周期，就能计算出转动物体的转动惯量。

物理摆或复摆与单摆摆动的样式相同。它的重量不像在球中那样是集中载重，而是在固体棒或杆中的分布载重。物理摆的周期除了取决于重力加速度 g 外，还同其质量、转动惯量和重心有关。时钟的摆是物理摆。一个普遍的规则阐明：摆的摆动周期取决于摆的尺度和摆所在地的重力加速度。

另一个实验涉及物理摆和单摆的应用。它们被固定在同一支架上(前图左)，在每个摆的下方各放置一只水银杯。将两只杯子、两个摆和一个电铃连在一个环路中，当两个摆在同一时刻触及水银面时，环路闭合通电而响铃。通过两摆的摆动就能测出两次巧合的铃声之间的时间间隔。利用这个测量结果和物理摆的已知周期，就能算出单摆的周期。这台装置可用来做许多其他实验。

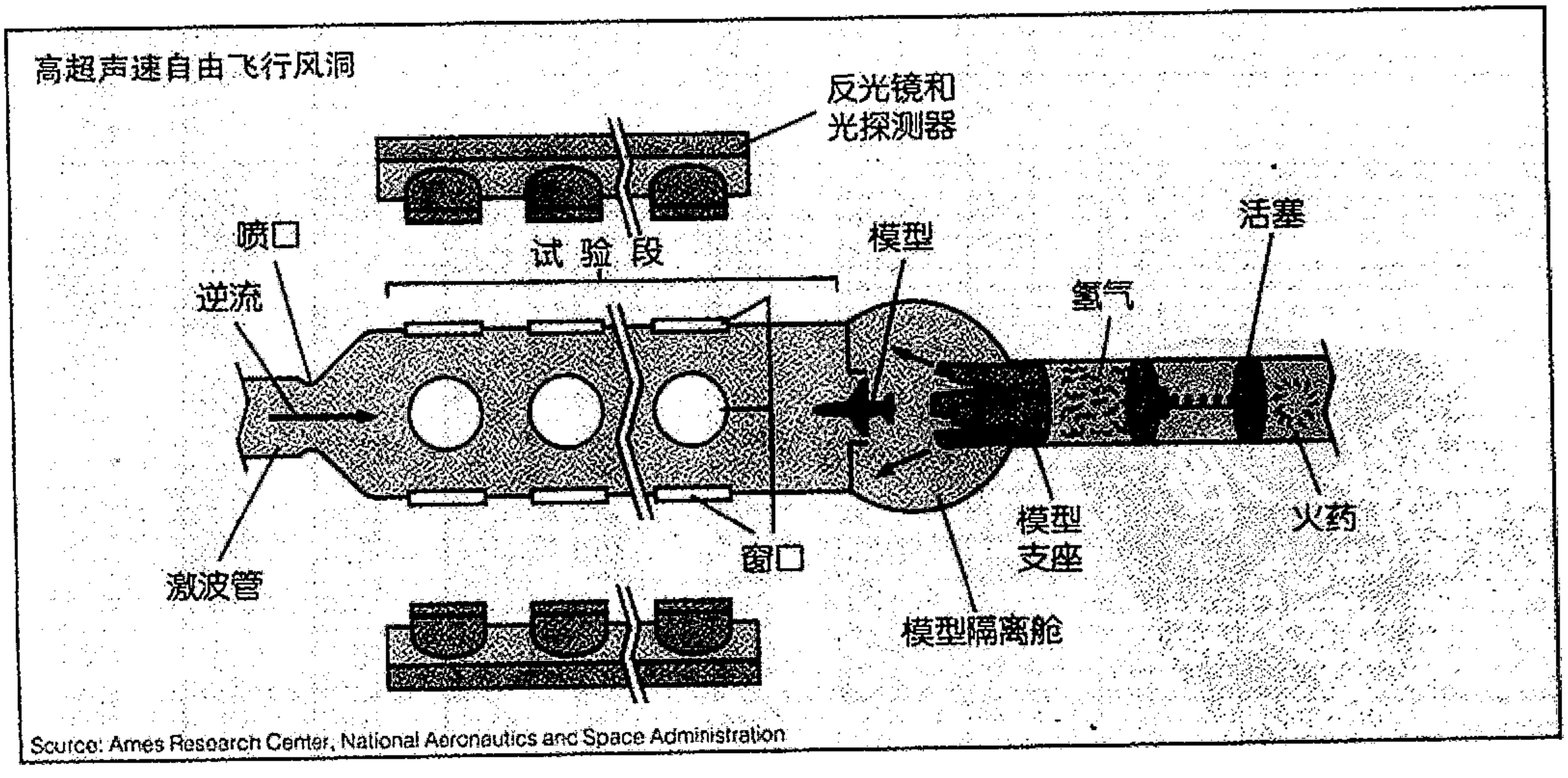
伽利略是第一个注意到摆的周期与摆动弧长无关的人。约 1660 年，荷兰科学家 C. 惠更斯解决了摆运动的数学问题，并用一个由摆控制的擒纵件制成了时钟。

风洞 WIND TUNNEL 风洞是工程师和科学家用来在实验室中模拟气流条件的装置。它是由精心设计的若干段风筒组成的，其中传送着速度可控的均匀气流。依风洞的尺寸，将全尺寸或按比例缩小的飞机或航天器的模型架设在风洞内或使其在风洞中飞过。风洞也用于研究高大建筑的风效应，烟囱排出的羽烟的漂移，及汽车的流线型化。

风洞用来模拟诸如流速、不同表面上的气压和温度等因素。按比例缩小的模型和原型试验相比，价格较低，建造时间较短，一般可用更广泛的测试装置。因而在设计确定之前，所有飞行器都要首先在风洞中进行试验。

为了将按比例缩小的模型试验结果直接应用于全尺寸飞机或太空飞行器，试验中的马赫数和雷诺数必须与全尺寸情况里的一样。马赫数是气流速度与声速之比。当马赫数为 1 时，气流速度等于声速。雷诺数同惯性力与黏性力之比有关，并能适当地预示流体阻力。

按风洞的尺寸和所需的压力等级，可分别采用木料、钢筋水泥或钢板制造风洞。它们的横截面可为矩形、圆形、椭圆形或正八角形。美国最大的风洞位于加利福尼亚国家航空航天管理局(NASA)的艾姆斯研究中心。用于低速流动的风洞，其试验段的矩形横截面尺寸为 24 米×37 米。1871 年，大不列颠的 F. H. 韦纳姆建造了第一个风洞。



高超声速风洞(设在加利福尼亚州莫菲特菲尔德美国国家航空航天管理局)能产生 7 倍于声速的高压气流。由火药爆燃驱动的活塞压缩氢气，使模型穿过试验段的速度可超过 32 000 千米每小时，并在试验段拍下模型飞行的照片。

风洞依其尺寸和试验段的气流速率可分为几种类型：亚声速风洞工作的马赫数约在0.95以下；超声速风洞工作马赫数大于1；跨声速风洞工作马赫数在0.8到1.2之间；马赫数超过4或5的风洞为高超声速风洞。某些风洞的马赫数可达到15。

大多数风洞有一个供气流循环的闭合通路。在开路风洞中，空气被吹贯风洞，然后从洞尾端流出。风洞中的气流由大气提供，并由压气机或鼓风机增大空气压强，或由一巨大高压储气罐供应高压气流。在高马赫数下，闭路风洞的运转出现困难，因为加速空气流动需要巨大能量。因而大多数高超声速风洞从固定的高压空气源获得高压气流以维持断续的短周期运转。

在超声速或高超声速飞行中，由于摩擦而在飞机或航天器表面产生的热随马赫数的提高而增大。对于由摩擦热所引起问题的工程解法的实例是美国国家航空航天管理局(NASA)的航天飞机。当它再入地球大气层时，其马赫数可达25。在太空船表面覆有热阻层，以保护金属蒙皮不受再入大气层时灼热的影响。模拟再入大气层温度状况的特殊风洞可帮助工程师设计在高速飞行中免遭摩擦加热之害的器件。

NASA所用的一台独特风洞是在弗吉尼亚兰利研究中心的国家跨声速实验装置。风洞直径为2.5米。为了使按比例缩小的模型试验中的雷诺数同全尺寸情况中的相等，利用低温氮气将风洞中的温度降至极低值。

在自由飞行风洞中，让模型实际飞行以试验其操纵的灵敏性。其他一些风洞被设计用于试验飞行器在急降或自旋过程中的稳定性。还有一些风洞可用于研究实际飞行中结冰环境对飞行器的危害。

仪表风洞中通常配备灵敏天平装置以测量作用于模型上的升力和阻力。皮托管是通过测量来流的滞止压强(总压)和静压以确定空气流速的装置。沿着模型表面的测压孔可以测出当地的静压。另一种测量流速的装置是热线风速仪，从其细金属线上的失热量所导致的电阻变化可测出当地空气流速。一种称为激光多普勒测速仪的光学装置由精细瞄准的激光束组成，通过激光束可测量气流中的微粒所引起的干涉条纹，从而算出当地空气流速。另一种光学装置称为纹影仪，它可以摄制超声速飞行中引起的激波图像。

撰文：Robert W. Graham

牛顿 NEWTON, Isaac (1642－1727)

牛顿爵士是17世纪科学革命的领袖人物，物理学家和数学家。他奠定了微积分的基础，扩展了对颜色和光的认识，研究了行星运动力学并发现了万有引力定律。他的研究成果确立了公认的科学的世界观，直到20世纪初该世界观的基础才被爱因斯坦所削弱。(见：**爱因斯坦**)

1642年12月25日牛顿诞生于英格兰的乌尔斯索普。他出生前，父亲就已去世，家境清寒。不久，牛顿的母亲再嫁并生了另外3个孩子。在她二次守寡后，期望牛顿管理她的可观的家产。因为牛顿无意于经管家庭农庄，就被送回格兰瑟姆的中等学校读书，准备上大学。1661年，当他来到剑桥大学三一学院时，获悉由于伽利略、哥白尼、开普勒和笛卡儿等人的研究成果，在欧洲已经并正在进行的科学革命。牛顿摒弃自然哲学科目中的亚里士多德学说，而对原子论者的论说发生兴趣，他们提出自然界的任何东西最终都是由不可分割的物质微粒——原子——所组成。与此同时，牛顿为他的若干数学发现创造了基础。1665年，牛顿回到乌尔斯索普并继续研究光、重力和数学，从而使他取得科学史上重大发现中的3项成果。

牛顿用光做的一些实验证明穿过棱镜的白光分裂为一条宽的彩带，称为光谱。穿过另一个棱镜后，该彩带又变为白光。他再使单色光穿过棱镜，发现它没有变化。由此牛顿断定白光是各种纯色光的混合体。他还提出光的微粒说：光是由微粒组成，这些微粒以巨大速率沿直线运动。(参见：**颜色；光；光学**)

牛顿提出的一个问题是：什么原因使月球在固定轨道上绕地球运行？引力的普遍定律就是由上述问题产生的。牛顿认为其原因可能是地球和月球的相互吸引力。(见：**万有引力；月球**)

在数学中，牛顿利用时间和无限的概念计算曲线的斜率和曲线下方的面积。他的流数方法——即后来的微积分——是在1669年提出的，但直到1704年才公布于世。(见：**微积分**)

Courtesy of the National Portrait Gallery.London



艾萨克·牛顿爵士像。戈弗雷·内勒爵士绘于1702年。

1669年，牛顿被任命为剑桥的数学教授，并继续进行科学研究。3年后他发明了反射望远镜。1687年，发表他的主要著作《自然哲学的数学原理》，提出引力理论。他还在议会中任职一段时间。

1696年，牛顿被任命为造币厂监督，那时正在进行硬币的完全重铸和标准化。1699年工程完成后，他被任命为造币厂厂长。1703年，他被选为皇家学会主席，并于1705

年受封为爵士。1727 年 3 月 20 日，牛顿在伦敦去世，并且是第一个光荣葬于威斯敏斯特教堂的科学家。

华伦海特 FAHRENHEIT, Daniel Gabriel (1686－1736) 德国的物理学家华伦海特于 1709 年发明酒精温度计，1714 年发明水银温度计。1724 年他创立以他的姓氏命名的温标。

华伦海特 1686 年 5 月 24 日生于波兰格但斯克。他到荷兰阿姆斯特丹求学和旅行，最后定居在那里。在那里他干起了制造科学仪器的工作。他发明了一种清洁水银的方法，使之不会堵塞玻璃管。这是发明水银温度计的关键。他于 1736 年 9 月 16 日卒于荷兰海牙。

为了给他的温标定点，华伦海特取冰水与食盐的混合物的温度为低点，取人体温度为高点。他将这个间隔分成 96 度。后来他对这个温标稍微做了点调整，以使水的冰点和沸点没有小数。于是水的冰点成了 32°F(0°C)，而沸点成了 212°F(100°C)。

普里斯特利 PRIESTLEY, Joseph (1733－1804) 英国牧师。一度因自由主义的政治思想被迫离开家乡。纪念普里斯特利主要是由于他对科学的贡献，他的最著名成就是发现氧。他应与瑞典化学家舍勒分享这个荣誉，因为舍勒发现氧的时间比普里斯特利要稍早一点。可是，普里斯特利向法国化学家拉瓦锡介绍他的发现，拉瓦锡认为普里斯特利分离了一种重要的新元素，命名为氧，并论证它在燃烧中的作用。

普里斯特利 1733 年 3 月 13 日生于英国约克郡利兹城附近。他在北安普敦郡的达文特里学院攻读牧师的职位，但是他的非正统宗教思想使他做教师比做牧师更容易，他在兰开夏的沃灵顿学院任教，在那里他强调实践教育，对学校取得的成功有很大贡献。

除发现氧和其他气体外，普里斯特利另外还研究电和光学。他信仰个人自由，促使他支持法国革命。他和他的家庭在 1779 年定居于伯明翰，但是由于他的与众不同的见解，迫使他于 1791 年离开该地。3 年后他和他的妻子离开英国到美国同他们的儿子在一起。他们定居于宾夕法尼亚州诺森伯兰，1804 年 2 月 6 日在那里去世。

安培 AMPÈRE, André-Marie (1775－1836) 法国大革命时，J.-J. 安培在被处死之前写道，他最大的开支是给儿子 A.-M. 安培买图书和科学仪器，儿子在他指导下学习。事实证明他的投入是值得的。A.-M. 安培成了著名的电磁学理论之父。

A.-M. 安培 1775 年 1 月 22 日生在法国里昂附近波莱米约的村子里。他的父亲是个兼理一般司法事务的地方官。安培小时被称为神童。在他父亲上断头台的 1793 年，他发明了一种国际语言，想要联合人类，推进和平。

从大约 21 岁时起，安培在里昂做化学、数学和语言课的私人教师。1799 年他与青梅竹马的女友卡伦结婚。第二年他们的儿子 J.-J. 安培出生。1801 年安培在布尔得到物理学和化学教授职务。他的有病的妻子和襁褓中的儿子留在里昂。三年后他的妻子在那里死于结核病。这是一个悲剧。安培再也没有从中恢复过来，但他以更大的热忱献身于他的实验。1807 年的第二次婚姻是失败的，只持续了两年。有一个孩子，是女儿。1809 年他被任命为巴黎综合工科学校的数学教授。

1820 年安培得知丹麦物理学家 H. C. 奥斯特的工作。奥斯特观察到了电流使磁针偏转的现象。这个消息刺激了安培。他很快提出了电磁学和所述现象的系统理论解释。他的论文在他第一次听说奥斯特的工作一个星期之后就送交了科学院。安培用数学公式表示磁体与电流之间的反应（安培定律）。他的理论为电动力学奠定了基础。（参见：**电**）

安培还发明了无定向磁针，它导致了电流计的研制。1824 年安培成为巴黎法兰西学院的物理学教授。他的儿子、一位文学史讲师，也在那里任教。

安培后来写过一本关于科学哲学的著作，试图将人类的全部知识归类。他还撰写过关于微积分学、概率论、光学、动物生理学和其他学科问题的著作。他个人生活的详情都细致地记录在他的日记和书信中。他 1836 年 6 月 10 日卒于马赛。电流的单位安培就是以他的姓氏命名的。

法拉第 FARADAY, Michael (1791－1867) 英国物理学家、化学家法拉第对化学和电学做出了许多重大贡献。当大科学家 H. 戴维被问到他认为他的最大发现是什么时，他回答说："法拉第"。

法拉第 1791 年 9 月 22 日生于英格兰萨里郡的纽因顿。他是一个铁匠的儿子。14 岁到一家书店当学徒，读了店中的所有科学书籍。年轻的法拉第参加了戴维的报告会。他仔细地做了记录，并将记录送给戴维，请求给他一个工作。大科学家被这个小伙子的热情所感动，让他进了自己的实验室当助手。

在戴维的指点下，他取得了加压使气体液化的成功。当他 1825 年发现苯时，他就成了有机化学一个完整分支的奠基人。他于 1833 年完成的电解定律将化学和电学联系了起来。（见：**电化学**）

法拉第最重大的成就是发现电磁感应（见：**电学**）。1831 年，他发现当一个磁体穿过金属线圈时，有电流产生。根据这个发现，人们研制成了发电机——所有现代发电厂的心脏。

法拉第在晚年发现强磁场中光的偏振面的偏转（见：**光**）。他在电磁学中的工作为 J. C. 麦克斯韦建立的统一电、磁和光的理论奠定了基础。法拉第和麦克斯韦二人工作的一个间接成果是无线电的发明（见：**辐射**）。法拉第 1867 年 8 月 25 日卒于萨里郡汉普顿考特。

亨利 HENRY, Joseph (1797－1878) 他是 B. 富兰克林之后美国第一流的大科学家之一。他有功于许

多发明，并发现了几个重要的电磁学基本原理，包括放电的振荡性和自感。自感是电路中绝对重要的一种现象。

亨利1797年12月17日生于纽约州奥尔巴尼。他出身于一个贫苦的家庭，没受过什么学校教育。1829年，在奥尔巴尼学校当教师时发明了一种大大增强电磁铁磁力的方法。同年他制造了第一台电动机。

虽然通常是法拉第享有1831年发现电磁感应的荣誉，而亨利比他早一年就观察到了那种现象（见：法拉第；电）。1831年，亨利在帮助莫尔斯研制电报机之前，就制造并成功地操作了他自己的电报机。亨利从未为他的许多发明申请专利，因为他认为科学发现应该是全人类的共同财富。

1832年亨利成为新泽西学院（后来的普林斯顿大学）教授。他继续进行研究，发现了成为变压器基础的那个定律。他做过一个试验，显然是第一次使用穿越一定距离的无线电波。他还指出，太阳黑子辐射的热量少于一般太阳表面。

1846年亨利成为首都华盛顿史密森学会的首任秘书。在那里他发起建立了一个全国性的天气预报系统。他是国家科学院的创始人和第二任院长。他1878年5月13日卒于华盛顿。1892年他的姓氏被规定为电感单位——亨利。

哈密顿 HAMILTON，William Rowan

(1805－1865) 爱尔兰数学家、天文学家哈密顿爵士在数学和物理学领域做出了几项特殊的开创性贡献。现代抽象代数学的发展得益于他的四元数理论。四元数是用来在三维空间进行几何学运算时使用的演算的复形式。他的统一光学和动力学的工作对数理物理学意义深远。不过他工作的深远意义在20世纪量子力学出现之前并没有被人们充分认识。他还发现了锥形折射现象，这被认为是他一生中最杰出的成就。

哈密顿1805年8月4日生于爱尔兰都柏林。他很小的时候是个公认的神童。5岁时他就能读拉丁文、希腊文、希伯来文。11岁他精通了古叙利亚文，14岁能用波斯文写作。15岁时，他读了牛顿的著作，开始对数学和天文学产生兴趣。18岁时他进入都柏林三一学院，以最优秀的成绩毕业。22岁时他被任命为天文学教授和爱尔兰皇家天文学家。1827年10月他定居丹辛克天文台，他在那里从事研究，度过了后半生。他的第一篇重要论文《光线系的理论》1827年呈交爱尔兰科学院。这篇论文使光学变成了一门新的数理科学。1835年他发表《论动力学的一个普遍方法》，1853年发表《四元数讲稿》。《四元数基础》则在他死后的1866年出版。哈密顿1835年被封为爵士，两年后成为爱尔兰皇家科学院院长。1865年9月2日他在都柏林逝世。

亥姆霍兹 HELMHOLTZ，Hermann von

(1821－1894) 能量守恒定律是19世纪的德国人亥姆霍兹提出的。这个有创造力的多面手科学家对生理学、光学、电动力学、数学和气象学做出了奠基性的贡献。他相信所有科学可以归纳到作为整个现实存在的包括物质、力和能的经典力学的定律中。

亥姆霍兹1821年8月31日生于普鲁士（现为德国的一部分）波茨坦。他最初是在家里学习的。他的父母教他拉丁语、希腊语、法语和其他语言，同时也教他康德哲学。他在本地高级中学毕业后，1838年进入柏林弗里德里希·威廉医学院学习。1843年毕业后，他作为军医服役5年。

1848年他在柏林被任命为解剖学陈列馆助理和美术专科学校教授。在他科学生涯的后来岁月里，他在柯尼斯堡生理学学院、波恩大学、海德堡大学和柏林大学的研究和教学中都取得了成功。1882年他被封为德国贵族。1888年他成为柏林物理技术研究所首任所长，此后再也没有离开这个职位。1894年9月8日卒于柏林。

亥姆霍兹出版的两部最有影响的著作是《音调感觉——理论的生理基础》(1863)和《生理光学手册》(1867)。他的论著《关于力的守恒》出版于1847年。在他的全部工作中，从生理学到电动力学，他都依靠经典力学进行推理。他去世10年后，爱因斯坦发表了几篇论文，对亥姆霍兹掌握的那些理论的基础进行永久性的变革。

开尔文勋爵 KELVIN，Lord

(1824－1907) 原名威廉·汤姆孙，1892年成为苏格兰拉格斯的开尔文勋爵。他是大不列颠的第一流的科学家和发明家。他发表了650多篇科学论文，取得70项发明专利。他以建立一个温标著名，在这个温标中－273.15°C作为绝对零度。这个温标称为绝对温标或开尔文温标。

汤姆孙于1824年6月26日在爱尔兰的贝尔法斯特出生。1832年全家迁居苏格兰的格拉斯哥，少年汤姆孙10岁时就在那儿上大学。他是一位出色的学生。到他21岁时，他先后在格拉斯哥、英国的剑桥和法国的巴黎学习，并已发表了12篇科学论文。

1846年，他成为格拉斯哥大学的自然哲学教授。在那里他建立了大不列颠的第一个物理实验室。他对物质性质的研究使他出了名。

1866年，他监督安放第一条横渡大西洋的电缆。为了改进电缆对信息的传递，他发明的镜像电流计用来传递信号，发明的虹吸记录器用来收报。为此，维多利亚女王授予他爵士称号。

威廉爵士遍游欧美，并于1884年在马里兰巴尔的摩的约翰·霍普金斯大学讲学。他对快艇驾驶和海洋有兴趣，并吸引他发明、申请专利并制作由英国海军使用的罗盘，量度潮水用的计算机，以及利用声音的回波测海的深度等设备。他与人合写《自然哲学教程》，于1867年出版，对其后的物理学家有重要影响。

在1907年12月17日他逝世于拉格斯以前，已成为许多外国研究院的荣誉成员并获许多著名大学荣誉学位。1890到1895年，他是皇家学会的主席。

斯旺　SWAN, Joseph (1828－1914)

英国物理学家、化学家斯旺制出了一个早期的电灯泡，发明了摄影干板。这些发明导致摄影术的重大改进并朝着现代电影的发展迈出了一步。

1828年10月31日，斯旺生于达勒姆郡森德兰。他在家乡跟一个药剂师当学徒，后来成为纽卡斯尔一家化学药剂制造商号的合伙人。在使用摄影湿板时，他注意到了热能提高溴化银感光乳剂的灵敏度。到1871年，他发明了一种干燥湿板的方法，开创了摄影术的便利时期。8年后他的溴素像纸获得专利。这种像纸通用于现代摄影的晒印中。

在早些时候的1860年，斯旺用一根碳化纸的细丝放入一个抽空了的玻璃泡中，制成了一种原始的电灯。然而因为缺乏好的真空条件和合适的电源，所以灯泡寿命短、发光效率低。他的设计与将近20年后爱迪生使用的方法实际上是一样的。1880年，在改进了真空技术后，斯旺和爱迪生都制造出了实用的灯泡。3年后，斯旺在为他的灯泡寻找更好的碳灯丝时，将硝化棉挤压通过一些小孔形成纤维，这种工艺获得了专利。纺织工业采用了他的方法。斯旺1904年被封为爵士。1914年5月27日，他在萨里郡沃灵厄姆逝世。

麦克斯韦　MAXWELL, James Clerk (1831－1879)

爱丁堡皇家学会的科学家们一定为1845年一个14岁男孩提交给他们的一篇论文而吃惊过。那是麦克斯韦撰写的第一篇科学论文，题为《论卵形曲线的绘制》。它标志着一个令人钦佩的科学生涯的开始。

麦克斯韦1831年11月13日生于英国苏格兰的爱丁堡。他本姓克拉克，"麦克斯韦"是后加的。麦克斯韦8岁时母亲去世。1841年他被带到爱丁堡科学院听讲演，16岁时进入爱丁堡大学读书。1850年他转到剑桥大学，在那里他获得数学的优异成绩和奖励，并成为三一学院的讲师。1854年麦克斯韦获得数学学位。两年后到伦敦国王学院任教。1865年他退了职以继续自己的实验工作，但1871年他又回到剑桥大学筹建著名的卡文迪什实验室，成为这个实验室的第一位物理学教授。

麦克斯韦的电磁波理论确立了他作为历史上最伟大的科学家之一的地位。他也在色盲、色视觉和土星光环的研究方面做出过贡献。麦克斯韦关于土星光环由不同大小块状物质组成的理论在100年后被首次到达土星的"旅行者"号空间探测器进一步证实。虽然麦克斯韦没有提出气体分子运动理论，但他是第一个应用概率和统计方法来描述气体分子性质的。根据他对色彩理论的研究，制作出了最早的彩色照片。照片是通过三基色光(红、绿、蓝)滤光镜拍摄一个物体，而后将影像叠合而成的。

在他著名的关于电学和磁学的著作中，他提出，电磁以波的形式穿过空间传播，这种波可以在实验室里产生。通过计算它们的速度，他发现电磁波与光波速度相同。他事实上判定了光波就是电磁波。当时没有任何证据表明类似的波能够透过相当大的距离，或者隔着相当大的距离被探测到。

在这种理论得到成功的验证之前，麦克斯韦于1879年11月5日在剑桥逝世。1888年赫兹根据麦克斯韦的理论进行实验，证明了电扰动以波的形式穿过空间传播。今天人们已经知道电磁波是个范围广阔的辐射频谱。

麦克斯韦描述光、电和磁的全部基本定律只用了很少的几个数学方程式，通常称为麦克斯韦场方程组。像牛顿的运动定律和万有引力定律一样，这些方程式长期被看做宇宙的基本定律。然而，它们不适用于量子论、波动力学和相对论支配的现象。(见：**能量**；**物质**；**辐射**；**相对论**)

范德瓦耳斯　WAALS, Johannes van der (1837－1923)

原子或分子之间的弱引力命名为范德瓦耳斯力，是为了向荷兰物理学家范德瓦耳斯表示敬意。范德瓦耳斯对物质的气态和液态进行研究，提出了一个对所有气体的连续性都适用的公式，即范德瓦耳斯方程，他为此获得了1910年诺贝尔物理学奖。

范德瓦耳斯1837年11月23日生于荷兰的莱顿。他在莱顿大学学习并于1873年以论文《论液态和气态的连续性》获得博士学位。从1877年到1907年，他在阿姆斯特丹大学任物理学教授。1923年3月8日他在阿姆斯特丹逝世。(参见：**原子粒子**；**物质**)

马赫　MACH, Ernst (1838－1916)

物体的速率对声速的比值称马赫数。这样的命名是对奥地利物理学家和哲学家马赫的尊重。他建立了光学、力学和波动的动力学中的重要原理。他也发展了全部知识来自感觉的观点。因此，他相信在科学考察下全部现象只能从经验或感觉方面来理解。这使他抵制经验无法检验的如绝对时间和空间等概念，为爱因斯坦的相对论引路。(见：**爱因斯坦**)

马赫于1838年2月8日在摩拉维亚的奇里兹-图拉斯(当时是奥匈帝国的一部分，现在捷克共和国)。1860年，他获得维也纳大学的物理学博士学位，并在该校教授力学和物理学，直到1864年。然后去奥地利的格拉茨大学，3年后去布拉格的查尔斯大学，在那里任教28年。

在19世纪60年代中，马赫发现后称为马赫带的现象：人眼在明显不同照明区域的边界附近看到的光亮和黑暗的带。1887年，他建立了超声原理和马赫数。1895年，他回到维也纳大学。两年后他得了中风。虽然在1901年他从活跃的研究岗位中退休，他继续讲授和写作达数年之久，他的著作有《感觉的分析》(1897)和《知识与谬误》(1905)。1916年2月19日，马赫于德国的哈尔逝世。

伦琴　ROENTGEN, Wilhelm (1845－1923)

获得1901年首次颁发的诺贝尔物理学奖的德国物理学家伦琴是X射线的发现者(见：**X射线**)。他的成就宣告了现代物理学时代的到来，并且改变了医学实践。

伦琴1845年3月27日生于普鲁士的伦内普。他上学是在荷兰和瑞士。1869年伦琴在苏黎世大学获得物理学

博士学位。他曾在斯特拉斯堡大学、吉森大学、维尔茨堡大学和慕尼黑大学从事研究和教学工作。

1895 年伦琴在维尔茨堡大学开始进行在不完全真空的玻璃管(通称为阴极射线管)中通电流的实验。他注意到,每当玻璃管通电时,近旁的一片氰亚铂酸钡都发光。伦琴推测,撞击玻璃管壁的电子相互作用,会形成某种未知的辐射,从而产生荧光。他将这种神秘的现象称做 X 辐射,或 X 射线。进一步的实验表明,X 射线能在摄影底片上形成影像,这种射线能够透过多种物质,比如纸、木头、某些金属,以及活体组织。医生们第一次有了一种观察人体内部的非外科工具。X 射线在医学和科学上的应用很快就遍及欧洲和美国。

伦琴获得诺贝尔奖以后,又继续进行了弹性、流体、晶体等几个领域的研究。1923 年 2 月 10 日伦琴在德国慕尼黑逝世。

迈克耳孙 MICHELSON, Albert A.

(1852 - 1931) 迈克耳孙是世界最杰出的物理学家之一。他确定光速为一个基本恒量,设计了一个利用光波波长前所未有地精确测量距离的方法。他也从事其他光谱学、气象学的研究。1907 年他获得诺贝尔物理学奖。(参见:**光**)

迈克耳孙 1852 年 12 月 19 日生于普鲁士小镇斯特列利诺(现在波兰的斯切尔诺)。1854 年他父母带他到美国,定居在加利福尼亚州的旧金山。

迈克耳孙非凡的科学天赋很早就为人所知。在中学老师的鼓励下,他 17 岁时进入马里兰州安纳波利斯美国海军学院,1873 年毕业。随后,1875 年至 1879 年他在那个学院任理科讲师。

1878 年迈克耳孙开始他一生热爱的工作——光速的精确测定。1880 年他旅居欧洲进行光学研究,在那里度过了两年时间。一回到美国,他便测定光速为 299 853 千米/秒,直到迈克耳孙去世前不久他重新测算光速为止,这个值一直是最佳通用值。

在欧洲,迈克耳孙开始制造一台干涉仪。这种仪器把一束光分成两束,沿不同路线发送,然后使它们回到一起。如果在此时两束光波不同步,就会得到干涉条纹,即交替的亮暗带。根据这些条纹的宽度和数量,可以作出极其精确的测量。

利用干涉仪,迈克耳孙和美国化学家、物理学家莫雷做了著名的迈克耳孙-莫雷实验,试图测量地球相对于以太(当时认为存在于地球大气层以外所有空间的一种物质)的速度。1887 年宣布的结论是否定性的:显然没有任何相对于以太的运动。这就是说,根本没有以太。这或许是科学史上最有意义的否定性实验。按照经典的牛顿物理学,这个结论似乎是荒谬的。为了解释这些,物理学不得不重建一个全新的基础。这种迫切要求最终导致了 1905 年爱因斯坦的公式化表述的相对论。(见:**爱因斯坦**;**相对论**)

1883 年迈克耳孙被任命为俄亥俄州克利夫兰的凯斯应用科学学院物理学教授。1889 年他在马萨诸塞州伍斯特的克拉克大学接受了类似的职位。1892 年他成为新成立的芝加哥大学物理系的教授和第一任系主任。迈克耳孙主张用某些特殊光的波长作为距离的标准。1893 年,他用自己的干涉仪按照受热的镉发出的红光测定了标准米。1920 年他成功地利用干涉仪测量了恒星参宿四的直径。这是人类第一次实实在在地精确测定一颗恒星的大小。

1923 年迈克耳孙又回到精确测定光速的问题上来。他领导了两处分开的实验来测量光束越过两个固定点之间的路程所需要的时间。在最后试验结果的数字计算出来之前迈克耳孙就去世了。1933 年公布了这个数字,是 299 774 千米/秒,这个值只比 20 世纪 80 年代采用的数字 299 792.46 千米/秒小 18 千米/秒。

1907 年,迈克耳孙因其光学研究成就而成为第一个获得自然科学方面诺贝尔奖的美国人,这也是他获得的许多荣誉中的第一项。在他 79 岁的一生中,发表的科学论文有《光速》(1902)和《光波及其应用》(1903)。他担任过几个科学社团的主要负责工作,包括担任美国科学院院长(1923 - 1927)。1931 年 5 月 9 日迈克耳孙在加利福尼亚州的帕萨迪纳逝世。

汤姆森 THOMSON, Joseph

(1856 - 1940) 著名的英国物理学家约瑟夫·约翰·汤姆森是电子的发现者。他的研究奠定了电学、电子学、化学和其他科学的重大发展的基础。他实现了气体导电工作,因而获得了诺贝尔奖。

汤姆森于 1856 年 12 月 18 日出生在英格兰曼彻斯特附近的奇特汉姆。父亲是一位出版商及售书者。年轻时的汤姆森梦想成为一名工程师,但他在欧文斯学院就读时,培养了在物理学方面的兴趣。他在剑桥大学进行了深造,1882 年他在那里成为一名讲师。1883 年汤姆森出版了关于涡旋环的专题论文,表现了他在原子构造方面的早期兴趣。

他作为教师和学者的工作给剑桥当权机构留下了极为深刻的印象,以致当 1884 年职位空缺时,他被聘为重要的实验物理学卡文迪什实验室教授。他很快召集了一批担当研究助手的优秀学生。他们之中有 7 位后来获得了诺贝尔奖。这期间,汤姆森主要从事电磁学试验。

1893 年,他把他的研究成果发表于《电学及磁学最新研究笔记》一书中。1896 年,在普林斯顿大学他进行了一次演讲,概括了他在气体放电方面的研究。

1896 年间,他也从事了阴极射线方面的调查研究。1897 年 4 月 30 日,他宣布组成阴极射线的粒子比原子小得多,震惊了科学界。这些粒子后来被称做电子。

在后来的研究中,汤姆森发现了元素氖的同位素,发明了分离不同种类原子和分子的电学办法。1906 年,他获得了诺贝尔奖。他的其他荣誉称号还有英国爵士、皇家学会的卡普里奖章以及众多大学的荣誉学位。他是 1915 年至 1920 年皇家学会会长。第一次世界大战期间,他服务于英国海军发明与研究部。

1890 年,他同罗斯·伊利莎白·佩吉特结婚。生有一子乔治,后成为一位著名的物理学家,还有一个女儿。

1940 年 8 月 30 日，汤姆森逝于剑桥，葬在威斯敏斯特大教堂。

赫兹 HERTZ, Heinrich (1857－1894) 当19世纪即将结束的时候，物理学领域有几项重要的发现。其中电磁辐射的发现要归功于德国物理学家亨利希·赫兹。赫兹的研究为无线电、电视和雷达的发展铺平了道路。

赫兹 1857 年 2 月 22 日生于德国汉堡。他的父亲是个著名的律师和议员。少年时，小赫兹就喜欢在自家实验室里制作仪器。

赫兹的大学生活是在慕尼黑大学开始的。不久，转学到柏林大学，并在那里以优异成绩获得哲学博士学位。在柏林，赫兹成为亥姆霍兹的助手。亥姆霍兹是当时第一流的物理学家之一。1883 年，赫兹成为基尔大学的理论物理学讲师。两年后，他被聘为卡尔斯鲁厄工业大学的物理学教授。1886 年，赫兹与那所大学一位教授的女儿多尔结婚。他们生了两个女儿。

19 世纪 80 年代，物理学家们正在寻求有关电磁波的实验证据。电磁波的存在，已于 1873 年由英国科学家麦克斯韦以数学公式做出了预言。(见：**麦克斯韦；辐射**)

赫兹于 1887 年验证了麦克斯韦假说。他用一只由两个抛光的小黄铜球做成的振荡器做实验。黄铜球连接到一个感应线圈上，两铜球间有一极小的，火花能跃过的间隙。赫兹推测，如果麦克斯韦预言无误，那么在每一串火花产生期间都会有电磁波射出。为了证实这一推测，赫兹做了个简单的环形导线接收器，环形导线端点是两个被一细小间隙隔开的小铜球。这个接收器放在距离振荡器几米远的地方。按照麦克斯韦的理论，一旦电磁波由振荡器的火花射出，便会在环形线内产生感应电流而形成越过间隙的火花。当赫兹开启振荡器时，情况果然如此。于是实现了电磁波的第一次发射和接受。

赫兹还注意到导电体反射电磁波，电磁波能被导体的凹面会聚。他发现大部分波能穿过绝缘体。赫兹的另一发现是光电效应。1889 年，赫兹被聘为波恩大学物理学教授。他于 1894 年 1 月 1 日在波恩逝世。

普朗克 PLANCK, Max (1858－1947) 德国物理学家，曾获 1918 年诺贝尔物理学奖，以量子论创始人的身分而为人们所牢记(见：**量子力学**)。他的研究成果使我们的理论物理学进入了一新纪元，带来了科学界对原子与亚原子过程的认识革命。

普朗克于 1858 年 4 月 23 日生于德国的基尔。他父亲是一著名的法理学家与法律学教授，执教于基尔大学。普朗克 9 岁进了慕尼黑著名的麦克西米兰文科中学，校中一名为弥勒的教师首次激励了他对物理学和数学的兴趣。尽管普朗克的各科成绩均属优等，他最终还是放弃了别的一些爱好与音乐而决定从事物理事业。

1874 年，普朗克进了慕尼黑大学，但用了一年在柏林大学跟物理学家亥姆霍兹和基尔霍夫学习。回到慕尼黑后，他便从事热力学第二定律的研究工作，于 1879 年获博士学位。次年为慕尼黑大学讲师，于 1885 年被任命为基尔大学的副教授。4 年后，接受柏林大学的任命，不久后就晋升为该校理论物理学的正教授。直到去世前不久，他一直在柏林。

普朗克研究热力学第二定律的最终结果，导致他创立了他的量子论，即现在众知的普朗克辐射定律与普朗克常数(用符号 h 来表示)。普朗克辐射定律是用来计算一黑体(或完全辐射体)的辐射能的数学关系式。为陈述此定律，普朗克不得不放弃他最珍贵的信仰——热力学第二定律是严格的自然规律。取而代之的是，他必须承认第二定律是统计性的定律。另外，普朗克还不得不在他的陈述中，假定辐射的发射、传递和吸收都是不连续而是成分立的包状的，或称是能量子状的。

在有关他辐射定律的计算中，他还引进了他的常数 h。普朗克常数是能量与时间的乘积，称为作用量，常被定义为基本的量子作用量。这是一个用在量子力学数学计算中的基本物理常数，而量子力学则是描述原子级中的粒子和波的行为的。

普朗克于 1900 年公布了他的发现，但多年后他这革命性量子论的丰富成果才被公认。在他整个一生中，普朗克对光学、热力学与统计力学、物理化学及其他一些领域都做出过重要的贡献。1930 年，他被选为德国威廉皇家学会会长，二次大战后该院易名为普朗克学会。尽管他对希特勒的法西斯统治深深反对，但在二次大战期间他一直留在德国。普朗克于 1947 年 10 月 4 日，在德国格丁根去世。

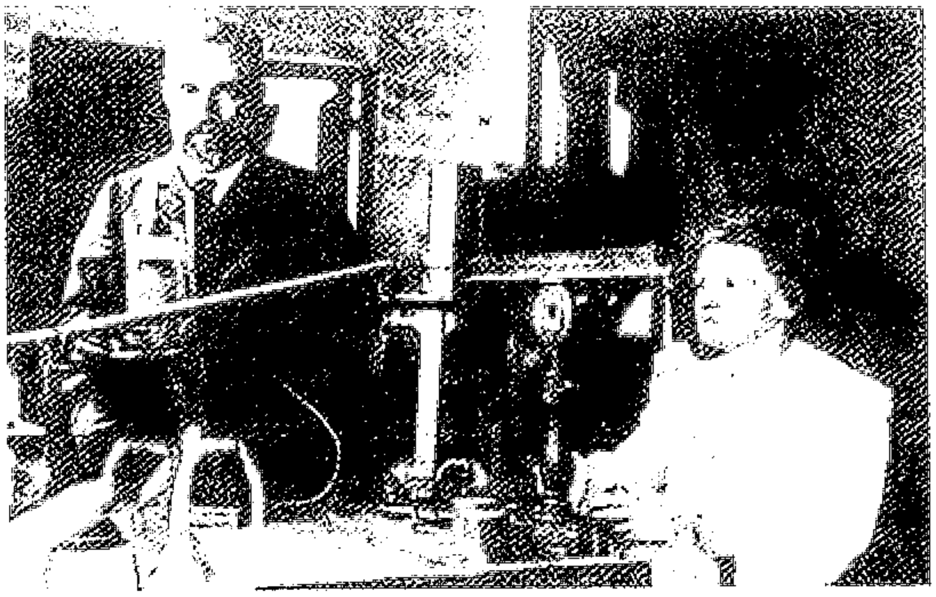
居里一家 CURIE FAMILY 一个家庭有 4 个成员获得诺贝尔科学奖是一个不寻常的荣誉，获得这种荣誉的是居里一家，4 个人的一生和工作开创了 20 世纪核物理历史的重要部分。

皮埃尔·居里生于 1859 年 5 月 15 日，幼年师从做医生的父亲。在遇见未来妻子玛丽以前，他在索邦的巴黎大学物理、工业化学学院已经在晶体和磁学研究方面取得卓越的成就。他与其兄雅克发现压电现象(见：**晶体**)。1882 年，皮埃尔被任命为工业物理和化学学院主管，在那里他继续做研究工作。

玛丽原名 M. 斯科罗多夫斯卡，1867 年 11 月 7 日生于波兰华沙。她像她父亲一样对数学和物理感兴趣。她在完成早期学习后转到巴黎上学，在那里她于 1894 年认识皮埃尔·居里，他们于 1895 年 7 月 25 日结婚，开始成为科学伙伴，很快赢得国际声望。

居里夫妇于 1898 年宣布发现化学元素钋和镭。由于发现放射性，居里夫妇和 H. 贝克勒尔共获 1903 年诺贝尔物理奖。1906 年 4 月 19 日皮埃尔被马车撞死。玛丽继续开展她的科学研究，成为在索邦的巴黎大学第一位女教授。由于分离纯镭的贡献，她于 1911 年获诺贝尔化学奖。因为在研究中长期接触放射性物质，她在 1934 年 7 月 4 日死于白血病。(参见：**放射性**)

Courtesy of the UNESCO Courier, Pierre and Marie Curie photo archives



皮埃尔·居里和玛丽·居里是他们著名科学家族中最早获得诺贝尔奖的成员。

皮埃尔和玛丽的长女伊雷娜 1897 年 9 月 12 日生于巴黎，她的丈夫弗雷德里克·约里奥 1900 年 3 月 19 日生于巴黎。伊雷娜 1925 年获物理学博士学位，同年她认识在她母亲实验室工作的弗雷德里克。他们于 1926 年 10 月 9 日结婚。之后 30 年他们继续老居里夫妇的研究工作。他们首先从事原子核的研究，共同合成新的人工放射性物质。由于他们的研究贡献，他们获得 1935 年诺贝尔化学奖。在 20 世纪 30 年代后期，他们从事发展核裂变的试验。第二次世界大战后，他俩活跃在发展核反应堆的工作上，以后从事多种和平运动。伊雷娜于 1956 年 3 月 17 日去世。弗雷德里克于 1958 年 8 月 14 日去世。

卢瑟福 RUTHERFORD, Ernest

(1871－1937) 卢瑟福是核物理学的伟大先驱者之一。他解释了放射现象中放射性衰变的作用，并且证明每个原子的正电荷集中在原子中心的核内。卢瑟福也是第一个用人工方法把一种化学元素转变成另一种化学元素的人。

卢瑟福 1871 年 8 月 30 日出生在新西兰纳尔逊附近。他的父亲是修车工人。卢瑟福在纳尔逊上学。1895 年他获得英国剑桥大学的奖学金。以 J. J. 汤姆森的研究生的声望，使他 1898 年获得加拿大魁北克省蒙特利尔的麦吉尔大学物理学教授的职位。1900 年他返回新西兰结婚。

到 1902 年，卢瑟福与 F. 索迪合作成功地建立了称为放射学的物理学新分支学科。他与索迪发表了有关 α 粒子和 β 粒子性质及有关放射衰变期间 γ 射线辐射的文章（见：**放射性**）。他们的发现包括由铀通过较轻化学元素的嬗变链。由于这项工作，卢瑟福获得了 1908 年诺贝尔化学奖。

1907 年，卢瑟福到英国曼彻斯特大学工作。到 1911 年，通过对 α 粒子射穿金箔后产生的偏转的研究，他建立了原子的核理论。他的一个学生玻尔用卢瑟福原子模型从量子论角度描述了氢谱。他的另一个学生莫斯利利用卢瑟福模型、玻尔理论以及他本人的 X 射线衍射研究，从原子序数的角度对元素周期表提出了新的解释。（参见：**原子粒子；玻尔；化学；核能；周期表；量子力学**）

第一次世界大战期间，卢瑟福从事潜水艇探测方法的研究工作。1919 年 4 月，他继汤姆森之后成为剑桥大学卡文迪什实验室主任。当年 6 月，卢瑟福宣布，通过 α 粒子轰击成功地用人工方法把氮蜕变为氢和氧。之后，卢瑟福用几年时间致力于质子加速器（原子击破器——早期高能加速器的俗称）的研究工作。1932 年，考克饶夫与卢瑟福小组的瓦尔顿利用第一台实用的原子击破器人工地将锂变为氦。

1914 年卢瑟福被封为爵士，1931 年晋升为第一位纳尔逊男爵。这个男爵爵位在他死后不再存在。他还曾任英国皇家学会的主席（1925—1930）和科学协作委员会的主席。1937 年 10 月 19 日，卢瑟福在剑桥逝世，葬于伦敦威斯敏斯特大教堂。

金斯 JEANS, James

(1877－1946) 金斯是现代大天文学家和物理学家之一，也是最能引起读者兴趣的科普作家之一。金斯能用浅显的语言表达复杂的天文学和物理学概念。他是第一个提出物质能够在宇宙各处不断创生出来的人。

金斯 1877 年 9 月 11 日生于英国伦敦。他是一个新闻记者的儿子。起初，他对数学和机械装置，特别是钟表机械产生了兴趣。他也喜欢音乐，上过钢琴课，成了一个业余风琴手。

18 岁时金斯获得剑桥大学三一学院的奖学金。毕业后金斯在三一学院教数学。1905 年他到美国，在普林斯顿大学教了四年书。又在剑桥大学教了几年书，尔后退职。1923 年至 1944 年，金斯在加利福尼亚州帕萨迪纳的威尔逊山天文台任研究员。1928 年他被封为爵士。他担任过皇家学会秘书和英国皇家天文学会会长等职务。

在编纂热力学、动力学、机械学、电学和磁学方面的学术著作和论文之后，金斯开始为一般读者进行科普创作。他的著作包括 1929 年出版的《我们周围的宇宙》和《神秘的宇宙》(1930)、《物理学和哲学》(1942)。他于 1946 年 9 月 16 日在英国萨里郡逝世。

迈特纳 MEITNER, Lise

(1878－1968) 迈特纳是奥地利物理学家，她与 O. 哈恩和 F. 斯特拉斯曼一起，因其研究导致核裂变的发现而获 1966 年费米奖。迈特纳原来在物理学领域的工作是研究 β 射线与 γ 射线之间的关系。

迈特纳 1878 年 11 月 7 日生于维也纳。她在维也纳大学学习，1907 年获物理学博士学位。此后，她到柏林参加化学家哈恩的放射性研究工作。她曾随 M. 普朗克学习并担任他的助手。

1913 年，迈特纳成为柏林威廉皇家研究所（现为马克斯·普朗克研究所）的研究员。1917 年，她成为那个研究所物理学部负责人，并与哈恩共同担任那个部的领导。他们共事约 30 年，发现并命名了元素镤。他们还研究了中子轰击铀的产物。

由于是犹太人，迈特纳 1938 年为逃避纳粹的迫害而离开德国。她逃到第二次世界大战期间仍保持中立的瑞典。

在瑞典，她与她的侄子O.弗里施共同研究中子轰击铀的物理特性，并提出把这一过程命名为裂变。哈恩和斯特拉斯曼沿着同一研究路线发现轰击能产生轻得多的元素。后来，核裂变研究的进展导致产生核武器和核动力。1960年，迈特纳退休，住在英国。1968年10月27日，她在剑桥逝世。

爱因斯坦 EINSTEIN，Albert（1879－1955）

在任何历史上的最伟大的思想家的名单中，都少不了有卓越的物理学家爱因斯坦的名字。他的相对论导致对时空、物质、能量和万有引力的全新的思考途径。爱因斯坦的科学工作导致科学上的像原子能的控制和当前天体物理学家们对空间的研讨等进展。

Courtesy of the Nobelstiftelsen，Stockholm



爱因斯坦像

爱因斯坦于1879年3月14日生于德国的乌耳姆，父母都是犹太人。他是一个怕羞但又好奇的孩子，在慕尼黑上小学时便表现出对科学及数学的兴趣。后来他在瑞士上完了高中和工艺学院。他22岁成为瑞士公民，于1903年和玛利奇结婚。他们夫妇有两个儿子，后于1919年2月离婚。当年7月，他和表妹艾尔莎结婚。

1902年，爱因斯坦在瑞士的伯恩专利局做一名审查员。1905年，年方26岁的他便在一重要的德国物理学杂志上发表了五篇主要的研究论文。其中的首篇论文使他获得了博士学位。而后面的四篇论文则从根本上改变了人类的宇宙观。第一篇论文提供了解释布朗运动，即悬浮显微粒子不断作曲折运动的现象（见：**胶体**）的理论。爱因斯坦提出：这运动是悬胶体中作无规运动的许多分子撞击悬浮粒子所造成的结果。

第二篇文章奠定了光子或光量子理论的基础。其中，他提出光是由分立的能包所组成，这能包称为光子，它具有一些粒子和一些波的性质。该论文对光理论重新加以界说。其中也解释了一些固体受光而发射电子的光电效应。电视还有其他的一些发明，就是爱因斯坦这一发现的实际应用。（见：**能量**；**光**）

第三篇论文则在他16岁时便开始酝酿了，内容为“狭义相对论”。爱因斯坦表明：凡是时间和运动，都是相对于观察者而言的，而先决条件是光速为常数和自然规律在宇宙的任何一处都是一样的（见：**相对论**）。文中引进了一个全新的概念。

第四篇论文则是对狭义相对论的数学补充。其中，爱因斯坦给出了他著名的质能相当的 $E=mc^2$ 公式。这公式告诉人们：能量E本身就具有质量m，而能量之大小正好等于质量乘以光速的平方（c^2）。公式还表明粒子般的小质量与一巨大的能量相当。这篇论文使爱因斯坦上升为在欧洲最受尊敬的物理学家之一。

1916年，爱因斯坦发表了广义相对论。其中提出了万有引力并非像以前众所接受的理论所说的那样，它不是力，而是由于质量存在而产生的时空连续统中场的弯曲。（见：**天文学**）

1909－1912年间，爱因斯坦在瑞士和德国的大学中讲授理论物理。1912－1914年，他回到苏黎世教书。1919年他便闻名全球，因该年伦敦皇家学会正式宣布他的广义相对论的预言得到了证实。

事情的发生是：该年5月29日，一科学远征队在新几内亚拍摄到日全食像。虽然他于1921年得到了诺贝尔物理学奖，但这并不是奖给他的相对论的，当时还把它看做有争议的问题。

爱因斯坦坚持反对国家至上的国家主义。他反对战争与暴力，而支持犹太复国主义——在巴勒斯坦建立犹太人家园的运动。在1933年德国纳粹掌权后，当局对他的观点加以指责并没收了他的财产，烧毁了他著的书。他就在当年迁居美国，并于1940年成为美国公民。

从20世纪20年代起，爱因斯坦就力图在电磁性与万有引力间，建立一数学联系。在后半生，他全力以赴地设法用单一的数学公式来解释物质与能量的所有性质，但终未成功。

1939年，二次世界大战在欧洲发生前不久，爱因斯坦得知有两位德国化学家已使铀原子裂变。在美国的意大利物理学家费米为此提出：铀原子裂变的链式反应可释放出大量的能量。1939年，爱因斯坦曾写信给罗斯福总统，向他提出这些科学知识会使德国去发展原子弹的警告。他建议美国应着手准备自己的原子弹研究。经这番努力产生曼哈顿计划，在1945年发展了最先的两枚原子弹（见：**核能**）。爱因斯坦于1955年4月18日在美国新泽西州的普林斯顿去世。

玻尔 BOHR，Niels（1885－1962）

20世纪第一流的科学家之一，诺贝尔奖获得者。他是把量子理论应用于原子结构的第一个人。他对量子物理学意义的诠释成为这门科学的基本信条。（参见：**量子力学**）

玻尔1885年10月7日生于丹麦哥本哈根。他的父亲是哥本哈根大学的生理学教授。玻尔是在科学家中间长大的。他于1903年入哥本哈根大学。1907年，他以在水振动时测量表面张力的实验获得丹麦皇家科学与文学院金质奖章。

1911 年，玻尔到英格兰，就学于汤姆森爵士和卢瑟福门下。他的第一项重要工作始于对卢瑟福提出的原子核模型的理论意义的研究。1913 年，他把普朗克和爱因斯坦的量子理论与核型原子概念联系起来，从而基本上离开了经典物理学。1916 年他重返哥本哈根，在哥本哈根大学任教授，1920 年成为那所大学理论物理研究院的院长。这时，他已是世界瞩目的物理学家。1922 年，他以原子结构的研究成果获得诺贝尔物理学奖。

1939 年初，玻尔访问美国时带来了德国科学家已成功地裂解铀原子的消息。玻尔 1939－1940 年冬在普林斯顿大学工作期间，发展了原子裂变理论，这直接导致第一颗原子弹的制造。1940 年，他返回丹麦。

德国占领丹麦之后，玻尔积极从事反纳粹活动。在因他有犹太血统而面临被捕的威胁之下，他于 1943 年乘渔船逃到瑞典，随后秘密飞到英格兰。在美国，他担任过原子弹计划的顾问，但他没有担任到目睹第一颗试验原子弹的爆炸。1957 年，他获得美国首次颁发的和平利用原子能奖。1962 年 11 月 18 日，玻尔在哥本哈根逝世。他发表的著作有《原子物理与人类知识》(1958)和《1958－1962 年度原子物理与人类知识论文集》(1963)。他的儿子 A. 玻尔以其原子核结构的研究成果获得 1975 年诺贝尔物理学奖。

薛定谔 SCHRÖDINGER, Erwin

(1887－1961) 奥地利理论物理学家薛定谔在物质波理论和量子力学的其他基础理论方面做出了贡献。因为建立原子理论的新模式，他于 1933 年与英国物理学家狄拉克一起获得诺贝尔物理学奖。

薛定谔 1887 年 8 月 12 日生于奥地利维也纳。他在维也纳上了大学。随后，在德国斯图加特、德国布雷斯劳(现波兰弗罗茨瓦夫)和瑞士苏黎世任物理学教员。1927 年，薛定谔继普朗克之后任柏林大学物理学教授。1940 年，他成为爱尔兰都柏林高等研究院教授。1956 年，薛定谔退休并返回维也纳，1961 年 1 月 4 日在那里逝世。

薛定谔在数学和原子物理学领域的工作发展了德布罗意的思想。玻尔已描绘过，原子由一个原子核与按固定轨道绕核旋转的电子构成。按照玻尔的理论，原子辐射仅在一个电子从一个轨道跃迁至另一个轨道时才被发射或吸收。其能量以分立能包的形式被发射或吸收。德布罗意的波动力学或物质波理论则修改了这一点，他设想一个绕原子核旋转的电子是与一种波相联系的。薛定谔从理论上发展了以上观点，他认为这种波能够互相叠加。于是，他就把发射和吸收频率与轨道频率联系起来了。这些想法被实验观察所证实。薛定谔写了几部波动力学方面的著作。他还发展了一种新的场理论。(参见：**玻尔；狄拉克；普朗克；量子力学**)

拉曼 RAMAN, Chandrasekhara Venkata

(1888－1970) 印度物理学家，他推动了印度科学事业的发展。他因为发现当光通过透明介质时其中一部分会改变波长而获得 1930 年诺贝尔物理学奖。

拉曼 1888 年 11 月 7 日生于印度特里奇诺波利。1917 年他成为加尔各答大学物理学教授。在研究不同物质中光的散射现象时，他于 1928 年发现，当一束单一频率的光穿过某一透明物质时，会有一束与原光束成直角的，带有其他频率的光出现，所带频率是那种物质所特有的。这些拉曼频率相当于那种物质的红外频率，是由光与那种物质之间的能量交换所引起的。

拉曼 1929 年被封为爵士。1933 年转到班加罗尔的印度科学研究院，担任物理学部的主任。1947 年，他在那里被任命为拉曼研究所所长。1961 年，他成为宗座科学院院士。他在提高当时几乎全印度每个研究机构的活力方面都做出了巨大的贡献。他创办了《印度物理学报》和印度科学院。他还培养了数以百计的学生，在印度和缅甸的大学和政府中任职。拉曼 1970 年 11 月 21 日在班加罗尔逝世。

康普顿 COMPTON, Arthur Holly

(1892－1962) 第一个描述 X 射线与电子相互作用情况的科学家就是这位美国物理学家康普顿。在他早期检测辐射的研究工作中，发现当 X 射线射到石墨上时发生散射，波长增大。这一发现通称为“康普顿效应”，它首次证明 X 射线的行为像粒子。这一发现意义重大，因为它证实了电磁辐射行为的波粒二象性理论。(参见：**辐射；物理学；X 射线**)

康普顿 1892 年 9 月 10 日生于俄亥俄州的伍斯特。他是伊莱亚斯和 O. A. 康普顿的最小的儿子。他的父母还有另外两个儿子和一个女儿。少年时，康普顿最初产生兴趣的主要是航空学和天文学。作为业余天文学爱好者的最初几年，他通过购置的望远镜拍摄星座和哈雷彗星的照片。后来，他造了一架翼展 8 米的滑翔机，并用其飞行过。

1913 年，他从伍斯特学院毕业。在普林斯顿大学，他 1914 年获物理学硕士学位，1916 年获博士学位。学业结束后，他与麦克洛斯基结了婚。他们生了两个儿子。康普顿的教学生涯 1916 年始于明尼苏达大学。第一次世界大战期间，他致力于研制飞机仪表。1919 年他得到一年的研究员基金到英国剑桥大学工作。

康普顿在密苏里州圣路易斯的华盛顿大学当了三年物理系主任之后，1923 年加入芝加哥大学的教师行列。在那里他因发现康普顿效应而与苏格兰物理学家威尔逊分享 1927 年诺贝尔物理学奖。康普顿还证实了 X 射线的全反射，并与人合作研究 X 射线偏振现象。在研究宇宙射线时，他发现了它们的电学特性。1931 至 1933 年，康普顿领导了一项世界性的宇宙射线观测工作。

第二次世界大战期间，康普顿领导了由美国陆军工兵部队组织的研制原子弹的曼哈顿计划早期工作。作为芝加哥大学工程冶金实验室主任，他主管首次链式核反应的研究，这是为受控核能释放铺路的工作。1942 年至 1945 年间，他还主持了政府的钚研究计划。1945 年他任美国阿尔贡国家实验室主任。

康普顿 1945 年被任命为华盛顿大学的校长，并从 1953 年至 1961 年在那里任自然科学史教授。他于 1962 年 3 月 15 日在加利福尼亚州的伯克利逝世。

泡利 PAULI, Wolfgang （1900－1958） 1945年诺贝尔物理学奖获得者泡利是20世纪最卓越的物理学家之一。他获诺贝尔奖是因为他于1925年发现现在通称的泡利不相容原理。

泡利1900年4月25日生于奥地利维也纳。他的父亲也叫沃尔夫冈，是一位著名学者，维也纳大学化学教授。小泡利很早就表现出了数学天赋。他还只是个维也纳的中学生时，就能理解爱因斯坦的广义相对论。爱因斯坦的著作使泡利终生为理论物理着迷。中学毕业后，他进入德国慕尼黑大学，在最优秀的理论物理学教师索末菲门下学习。20岁时，泡利写了一篇200页的关于相对论的百科全书条目。这篇文章至今仍是那个领域的经典作品之一。1923年，他一获得博士学位便被任命为汉堡大学讲师。

在慕尼黑时，泡利已被引向了原子的量子理论（见：**量子力学**）。这项革命性理论提出：原子并非由实心物质构成，而是由能包构成的，这些能包构成核与沿轨道运行的电子。这些电子充满围绕原子核的不同递次的电磁壳层。（见：**原子粒子**）

在研究原子磁特性的过程中，泡利发现在一个原子中同一个时间两个或两个以上的电子不能处于同一能级上。因此，一个给定的能态可以说成是由一个特定电子所作的排他性"占领"。1925年，泡利引入了他的不相容原理，从而以量子论角度解释了元素周期表的结构。这是物理学和化学领域的一个突破。

1928年，泡利成为瑞士苏黎世联邦工程技术研究所理论物理学教授。在他的指导下，第二次世界大战前夕该研究所成为理论物理研究的重要中心。在这个研究所期间，泡利对20世纪20年代后期已被观察到的一种现象产生了兴趣：当一个β粒子从一个原子的核中射出时有微小的能量和动量损失——这一损失严重违背了能量守恒定律。

泡利并未放弃能量守恒定律，而是提出有一种未知的，几乎没有质量或根本没有质量并且不带电荷的粒子把失去的能量和动量从原子核中带走了。这种粒子被费米定名为中微子，最终在1956年被观察到。

第二次世界大战爆发后，泡利移居美国。1940年，他被聘为新泽西州普林斯顿高级研究院理论物理学教授。6年后，他加入了美国国籍。战后，他回到苏黎世，1958年12月15日在那里逝世。

费米 FERMI, Enrico （1901－1954） 1942年12月2日第一次人工自持链式核反应获得成功，这导致了核能的可控释放。这一功绩是在芝加哥大学尚未启用的橄榄球场看台下一个墙球场地上取得的。率众取得这个成就的科学家是费米。这种控制核能能力的首次实际应用就是第二次世界大战末期使用的原子弹。

费米1901年9月29日出生在罗马。他的父亲是铁路工人，他的母亲是小学教员。他是他们三个孩子中最小的一个。费米17岁时靠奖学金进入比萨大学。他很快就反过来给他的物理学老师讲理论物理学了。

1922年，他获得物理学博士学位。在德国格丁根和荷兰莱顿进一步学习之后，他开始在罗马大学任教。在罗马大学他认识了卡彭。她是那个学校的一名理科学生，1928年成为他的妻子。他们生了一儿一女。1934年，费米创立了放射学中β射线衰变的理论。很快他就用中子做实验得到大约40种具有放射性的化学元素。这项工作使他获得1938年诺贝尔物理学奖。

为躲避意大利的法西斯主义，在去瑞典接受诺贝尔奖之后费米一家移居美国。费米在纽约市哥伦比亚大学任教并从事铀的研究工作。1944年他成为美国公民。

1941年12月7日，美国在第二次世界大战中参战。1942年初，费米转到芝加哥大学。他的研究小组在那里的橄榄球场看台下的一个墙球场地上研制成一种能引起核裂变的方法。用这种方法，他与他的小组完成了能释放巨大核能量的链式反应。（见：**核能**）

战后，费米继续任芝加哥大学教授。1954年他被原子能委员会授予首次颁发的特殊奖。奖金25 000美元。几天后，11月28日，费米在芝加哥死于癌症。

海森伯 HEISENBERG, Werner （1901－1976） 德国物理学家海森伯因其在量子力学方面的工作获得1932年诺贝尔物理学奖。然而，他最为人铭记的或许应是他对不确定性原理的研究。这一概念是建立在他坚信的亚原子粒子的行为只能根据概率预测的基础之上的。因此，牛顿的运动定律不再能用来准确地预测单个亚原子粒子的行为。

海森伯1901年12月5日出生在德国维尔茨堡。他在慕尼黑大学学习理论物理学，1923年获博士学位。1924年他从那里去格丁根在M.玻恩门下求学，又去丹麦哥本哈根与玻尔一起工作。他的具有独创性的量子理论发表于1925至1926年，不确定性原理发表于1927年。在与玻尔一起工作时，他发展了并协性原理。这一物理学中的度量概念被包括爱因斯坦在内的许多物理学家所拒绝接受。

从1927年至1941年，海森伯在莱比锡大学任理论物理学教授。第二次世界大战期间，他与哈恩在柏林的威廉皇帝物理学研究所建造核反应堆（见：**哈恩**）。由于内心憎恨纳粹统治，他设法阻止了德国发展出有效的核武器。战后，他成为马克斯·普朗克物理学研究所所长。1976年2月1日，海森伯在慕尼黑逝世。

狄拉克 DIRAC, P. A. M. （1902－1984） 诺贝尔奖获得者，英国科学家狄拉克是20世纪最重要的理论物理学家之一。他以量子力学方面的研究成果，提出电子自旋理论及预言存在反物质而著称。

狄拉克1902年8月8日生于英格兰的布里斯托尔。小时候他就显露出数学才能，于是受到他的父亲，一位瑞士出生的教师的鼓励。狄拉克在布里斯托尔大学学习电机工程。取得学位后，他进入剑桥大学。1926年，还是个研究生的狄拉克就提出了一种量子力学的模式，即支配比原子还小的粒子运动规律的理论。狄拉克的理论研究使他得出了

与其他物理学家一致的看法，即像电子那样的粒子必定是在其轴上旋转的粒子。他还断言，一定存在着负能状态。这一看法在1932年正电子(即反电子)被发现时得到证实。

1933年，狄拉克获得诺贝尔物理学奖。他在剑桥获得博士学位后便在那里任教。1932年他被任命为数学教授，他一直任此职，直到1969年移居美国。1971年，他成为佛罗里达州塔拉哈西的佛罗里达州立大学物理学教授。他于1984年10月20日在塔拉哈西逝世。(参见：**原子粒子；物质；物理学**)

奥本海默 OPPENHEIMER, J. Robert

(1904－1967) 理论物理学家奥本海默是美国新墨西哥州洛斯阿拉莫斯实验室主任。20世纪40年代中期，科学家们在这个实验室为研制原子弹的曼哈顿计划进行研究工作。

Courtesy of the Los Alamos National Laboratory, New Mexico



奥本海默像

奥本海默1904年4月22日生于纽约市。1925年从哈佛大学毕业，到英国剑桥大学卡文迪什实验室从事研究工作。1927年在德国格丁根大学获得博士学位。在那里，他结识了玻尔、狄拉克等著名物理学家。

奥本海默一回到美国，便成为伯克利的加利福尼亚大学和加利福尼亚理工学院的物理学教授。他研究了亚原子粒子和量子论的能量过程。

1943年，奥本海默选择洛斯阿拉莫斯为实验室基地。战后，他辞去了那里的职务，从1947年到1966年任普林斯顿高级研究院院长。1954年，在由威斯康星州参议员麦卡锡掀起的反共歇斯底里时期，联邦人事安全局吊销了奥本海默的军事安全特许权。于是，在试图解决由科学发现产生的道义问题时，奥本海默成了无端的政治迫害牺牲品的科学家的世界性代表。1963年，由约翰逊总统决定恢复了他的军事安全特许权，并由美国原子能委员会授予他费米奖。1967年2月18日，奥本海默因喉癌在普林斯顿逝世。

梅耶夫人 MAYER, Maria Goeppert

(1906－1972) 德裔美国物理学家梅耶夫人与延森和威格纳因为解释原子核的结构和性质而共同获得1963年诺贝尔物理学奖。

她1906年6月28日生于德国的卡托维茨。她的父亲是格丁根大学儿科学教授。在这所大学里她在玻恩的指导下学习理论物理学，1930年获博士学位。同年与美国化学物理学家J. E. 梅耶结婚，婚后他们移居美国，在约翰·霍普金斯大学工作。

1939年，她开始在沙拉·劳伦斯学院和哥伦比亚大学任教。在哥伦比亚大学，她为制造原子弹的曼哈顿计划从事铀同位素分离工作。1945年，她在芝加哥大学原子核研究所及附近的阿尔贡国家实验室继续进行研究工作。她用核壳层理论解释了具有某个质子和中子粒子数的原子核的巨大丰度和稳定性。她的研究成果发表在与延森合著的《核壳层结构的基本理论》(1955)中。1960年，梅耶夫人和她的丈夫转到圣迭戈的加利福尼亚大学。1972年2月20日，她在那里逝世。

朝永振一郎 TOMONAGA, Shin-Ichiro

(1906－1979) 1965年，日本物理学家朝永振一郎与美国的费因曼和施温格一道分享诺贝尔物理学奖。他的工作帮助解决了量子电动力学理论与爱因斯坦狭义相对论的矛盾。(见：**相对论**)

朝永振一郎1906年3月31日生于日本京都。1929年他在京都大学结束原子物理学的学习，获博士学位，随后到德国著名物理学家兼哲学家海森伯门下继续学习。1941年朝永振一郎成为文理科大学(现在的东京教育大学)的教授。同年他开始研究电动力学。然而第二次世界大战使他与美国和欧洲的科学家相隔绝。1943年他发表他的研究成果，而西方物理学家直到大约1947年才知道他的文章。约在同时，美国人费因曼和施温格也双双发表了同一研究内容的文章。三个人虽然采用的方法不同，但却得到了几乎相同的结论。

朝永振一郎1956年至1962年任他所在大学的校长。1962年他被选为日本学术会议会长。他的著作《量子力学》1962年出版英文版。他的诺贝尔获奖演说在1966年发表，题为《量子电动力学的发展：往事回忆》。朝永振一郎1979年7月8日在东京逝世。

汤川秀树 YUKAWA, Hideki

(1907－1981) 20世纪最有影响的理论物理学家之一，汤川秀树以其原子核力的介子理论获得1949年诺贝尔物理学奖。从而，在日本科学声誉扫地之际，他成为日本的第一位诺贝尔奖获得者。

他的理论在1935年刚发表时并未引起什么注意。然而两年后，当发现宇宙射线介子(现在称为μ子)是宇宙射线的穿透成分时，汤川秀树立刻赢得了声誉。虽说汤川秀树的介子与μ子被证明是不同的粒子，但他的介子理论还是在全世界激起一阵兴奋的火花。

汤川秀树1907年1月23日生于东京。他的父亲小川琢治是地质学家，京都大学教授。汤川秀树在京都大学接受了正规教育，1929年毕业后与汤川寿美结婚，用了妻子

家的姓汤川。他在京都大学教了三年书，1933 年离开那里到大阪帝国大学当了一名讲师，1938 年在那里获博士学位。尔后他返回京都大学，从 1939 年到 1950 年担任理论物理学讲师。

1948 年他应奥本海默的邀请到美国新泽西州普林斯顿高级研究院当客座教授。从 1949 年到 1953 年，他在纽约市哥伦比亚大学当教授。为了对汤川秀树的科学成就表示感激，也为了劝他回日本，1953 年在京都建立了基础物理研究所。汤川担任了这个所的所长，直到 1970 年退休。汤川写了许多有关创造力、科学史和科学哲学的文章。他于 1981 年 9 月 8 日在京都逝世。

在 1932 年的一系列发现之后，物理学家仍不能解释为什么原子核中带正电的质子并不互相排斥而使核分裂。因为两个带正电的粒子本应彼此排斥，汤川则认为有另外的力使它们结合在一起。

汤川 1935 年的论文是对核物理领域的重要贡献。这篇论文也支持了海森伯和费米以前的工作。汤川提出，中子和介子，统称为核子，是通过一种新的相互作用，称作强相互作用，结合在一起的。当质子在核内被紧密地结合在一起的时候，这种强力比它们之间的电斥力强得多。

汤川将核内的强力与弱力明确分开，并预言一种小而高能的粒子——介子的存在。他认为是这种粒子将原子核内的质子和中子结合起来的。存在 π 介子这一事实，在 1947 年得到证实。仅仅经过 20 年的实验和理论努力就搞清了，汤川秀树的预言基本上是正确的。（参见：**原子粒子；原子核物理**）

朗道 LANDAU, Lev Davidovich (1908－1968)　在苏联介绍和发展理论物理学的人莫过于朗道了。他是 20 世纪最有才华的科学家之一。由于对液态气体，特别是对氦的特殊行为的研究，他获得了 1962 年诺贝尔物理学奖。

朗道 1908 年 1 月 22 日生于阿塞拜疆的巴库。他上过巴库经济技术学校，是一个才华横溢的学生。1927 年他在国立列宁格勒大学毕业。当时那里是苏联物理学的中心。1929 年，他去哥本哈根，在著名物理学家玻尔门下学习（见：**玻尔**）。玻尔所在的理论物理研究所是那个时期重要的物理学家大都曾度过一段研究生涯的地方。

从 1932 年到 1937 年，朗道在哈尔科夫的乌克兰物理技术研究所的理论部任主任。他把那个地方变成了苏联物理学研究的主要中心。他在那里作为合作者之一开始撰写九卷本《理论物理学教程》。1937 年他转到莫斯科，成为瓦维洛夫物理学问题研究所理论部负责人。正是在那里，他发展了他的液氦理论。液氦是通过管道时阻力较其他任何液体都小的流体。

除去斯大林大清洗时期他于 1938 年被短期监禁以外，在 1962 年 1 月的车祸以前他一直不间断地工作。车祸使他丧失知觉达几个星期之久。此后他再也没有恢复他原来的能力。1968 年 4 月 1 日朗道逝世。

巴丁 BARDEEN, John (1908－1991)　对半导体——一些导电性能比金属及其他导电物质差但比玻璃及其他绝缘体好的物质——的研究使物理学家巴丁发现了晶体管效应。这个发现开辟了微型电子元件时代。

巴丁与他的合作者肖克莱和布拉顿因 1948 年联手发明晶体管而获得 1956 年诺贝尔物理学奖。1972 年，巴丁成为第一个两次获得诺贝尔物理学奖的人。他因为与库珀和施里弗一起发展超导电性的 BCS 理论而获得这一荣誉。BCS 理论是以他们三个姓氏首字母命名的，它解释了为什么有些物质在极低温度下对电流全然失去阻力。这个理论首次被提出是在 1957 年，它成了后来所有超导理论研究工作的基础。

巴丁 1908 年 5 月 23 日生于美国威斯康星州的麦迪逊。1936 年在普林斯顿大学获数学和物理学博士学位。从 1938 年到 1941 年任职明尼苏达大学。第二次世界大战期间，他作为首席物理学家在华盛顿的美国海军军械实验室服役。战后他加入贝尔电话公司实验室的工作，从事半导体电子传导性能的研究。1951 年至 1975 年，他在伊利诺伊州厄巴纳的伊利诺伊大学任教授，1975 年作为物理学和电气工程学荣誉教授退休。

巴丁获得过许多荣誉，包括 1965 年的国家科学勋章。1973 年他成为英国皇家学会会员，1976 年成为印度国家科学院院士，1977 年成为日本学士院成员。1977 年他获得总统颁发的自由勋章。他在一些科学期刊上发表过关于固体物理学各方面问题的文章。1991 年 1 月 30 日，巴丁因心脏病在马萨诸塞州的波士顿去世。

特勒 TELLER, Edward (1908－　)　美国物理学家特勒为核武器的发展做出了贡献。他在研制世界上第一颗氢弹中是有贡献的。

特勒 1908 年 1 月 15 日生于匈牙利布达佩斯。他在莱比锡大学获物理化学博士学位，并在哥本哈根跟玻尔学习原子物理学。1935 年他被邀为美国首都华盛顿的乔治·华盛顿大学客座教授。到 1941 年，他成为美国公民，同时参加了费米研究小组的一项实验。这项实验产生了第一次受控链式核反应。

1943 年奥本海默建立了洛斯阿拉莫斯科学实验室，意在设计一个原子裂变炸弹。特勒参与了这项研究工作，但他却日益变得热衷于研制热核氢弹。氢弹比原子弹的威力要大得多。当第二次世界大战末期两颗原子弹在日本造成惨重破坏时，洛斯阿拉莫斯的大多数科学家失去了继续研制武器的劲头，并认为研制具有更大杀伤力的氢弹是不道德的。然而特勒确信，发展先进武器将能避免未来的战争。1950 年 1 月，富克斯承认他已向苏联提供了制造原子弹的资料之后，美国政府给特勒拨款，让他尽快研制氢弹。1952 年 11 月 1 日，一颗制成的氢弹在太平洋引爆。从那以来，在战争中没用过任何热核武器。但是有几个国家进行了许多次热核武器试验。

在加利福尼亚的利弗莫尔建立了另一个武器实验室，

从1958年起由特勒主管。1960年特勒退休。在随后继续从事研究的岁月里，他成了原子事务的发言人。他写了几篇研究论文，包括1979年发表的《来自天和地的能量》。

阿耳瓦雷茨 ALVAREZ, Luis W.

（1911－1988） 阿耳瓦雷茨是实验物理学家，他因发现共振粒子，即寿命极短且仅在高能核碰撞时才存在的亚原子粒子等工作而获得1968年诺贝尔物理学奖。他也参加了20世纪40年代有关原子弹的工作。在晚年，他提出理论，认为恐龙的灭绝是6 500万年前一次流星撞击地球的结果。

阿耳瓦雷茨1911年6月13日生于旧金山。他上了芝加哥大学，1932年在那里获理学士学位，1936年获哲学博士学位。同年，他到伯克利的加利福尼亚大学任教，1945年在那里成为物理学教授，后来曾任劳伦斯放射实验室（现劳伦斯伯克利实验室）副主任（1954－1959，1975－1978）。阿耳瓦雷茨从1940年至1943年在麻省理工学院，从1944年至1945年在新墨西哥州洛斯阿拉莫斯科学实验室从事有关微波雷达的研究工作。他协助研制了微波导向系统、线性雷达天线、地面控制着陆进场系统，研究了利用雷达瞄定目标进行空中打击的方法。他还提出了爆聚型原子弹的起爆技术。

第二次世界大战后，阿耳瓦雷茨帮助建立了第一台质子线性加速器。他还研制了液氢气泡室，在液氢气泡室内可对亚原子粒子及其反应进行探测。他的自传《阿耳瓦雷茨：一个物理学家的奇遇》出版于1987年。1988年9月1日，阿耳瓦雷茨在伯克利逝世。

吴健雄 WU, Chien-Shiung （1912－1997）

华裔物理学家吴健雄最先以实验室证明：在亚原子粒子的弱相互作用中宇称守恒原理不成立。

吴健雄1912年5月31日出生于江苏省浏河。1936年去美国伯克利的加利福尼亚大学学习。1940年获博士学位后，在马萨诸塞州北安普敦的史密斯学院和新泽西州普林斯顿的普林斯顿大学任教。1944年她在纽约市的哥伦比亚大学战时研究部门研究辐射探测，1957年为该校的物理学教授。

20世纪30年代早期以后，宇称守恒或宇称的对称性已成为量子力学的基本原理。1956年，理论物理学家李政道和杨振宁提出：在支配放射性衰变的弱相互作用——三个基本核内相互作用之一——中，宇称是不守恒的。1957年，通过钴-60出射的β粒子有其优先方向，证明李、杨是正确的。1963年，吴健雄和其他学者确定在β衰变中矢量流守恒。她还研究血红蛋白的结构，1975年，她被授予科学的国家奖，并担任美国物理学会的主席。

富兰克林 FRANKLIN, Rosalind

（1920－1958） 英国生物物理学家。因对脱氧核糖核酸（DNA）分子结构的发现有贡献而闻名于世。DNA是组成遗传材料染色体和基因的主要物质。当克里克、沃森和威尔金斯于1962年因确定DNA结构获诺贝尔生理或医药奖时，许多科学家认为富兰克林也应与他们共享这个荣誉。

富兰克林1920年7月25日生于伦敦。她曾获剑桥大学纽纳姆学院奖学金。1941年毕业后开始研究煤和碳化了的煤的物理结构。1947－1950年，她在巴黎掌握了X射线衍射分析技术（X射线衍射法是一种分析材料的晶体结构的方法，将X射线通过所测材料，观察射线的衍射或散射的图像）。富兰克林用这种技术比以前更精确地测定了碳的结构。她还确定了碳有两种明显不同的种类：一种加热至高温时会变成石墨，而另一种不会。

1951年富兰克林参加皇家学院医学研究委员会生物物理实验室工作，她同戈斯林倡导用X射线衍射法研究DNA的分子结构。在这些研究中，她最初认为是螺旋形的结构（有螺旋臂），以后的研究使她改变了主意。由于她在这方面的工作，沃森和克里克终于确定了DNA分子的双螺旋模型，并证实与DNA的已知性能相符合。在这些科学家们的成功努力中，有些数据是由富兰克林首先提供的。

从1953年到1958年4月16日去世，富兰克林一直在伦敦伯贝克学院结晶学实验室工作。在那里她出版了她早期关于煤的研究著作，并着手研究烟草斑纹病毒的结构。

萨哈罗夫 SAKHAROV, Andrei

（1921－1989） 苏联核物理学家，他指导开创受控热核聚变，引导制成了苏联第一颗氢弹。

萨哈罗夫1921年5月21日出生于莫斯科。他的父亲也是物理学家。萨哈罗夫于26岁时从列别捷夫物理研究所获得博士学位。从1945到1980年，他是那里的教授。1953年他成为苏联科学院院士。1968年，他发表论文强烈呼吁彻底削减原子武器。1971年，他创建人权委员会。1973年，他获得罗斯福和平奖。

1989年4月，萨哈罗夫被选人新的苏维埃。新的人民代表会议为苏联科学院保留了12个名额，萨哈罗夫赢得其一。

萨哈罗夫的著作包括《进步、共处和理性自由》（1968）、《萨哈罗夫谈话集》（1974）和《警报与希望》（1979）。1989年12月14日，萨哈罗夫于莫斯科逝世。

杨振宁 YANG, Chen Ning （1922－ ）

华裔美国理论物理学家，他和李政道合作研究粒子物理学，并共获1957年诺贝尔物理学奖。他们论证了在一些基本粒子的衰变中，宇称——出现在右旋和左旋坐标系内物理现象间的对称性——被破坏了。在这个发现之前，物理学家已经假定宇称对称性是一条普适定律。

杨振宁于1922年9月22日在合肥出生，受富兰克林自传的鼓舞，他以这位政治家的姓为名，称Frank Yang。他在特勒的指导下研究，获芝加哥大学物理学博士。他在任

费米的助手时，和李政道开始合作。宇称实验也证明了称为电荷共轭对称性的粒子和反粒子间的对称性在弱衰变中也破坏了。

1955年，杨振宁在新泽西州普林斯顿高级研究院任教授。1964年，他入美国籍。1965年起，他是位于长岛斯托尼布鲁克的纽约州立大学科学研究所的爱因斯坦讲座教授。他于1957年获爱因斯坦奖，1980年获朗福德奖。

1985年由美国总统授予国家科学技术奖章。1994年因杨-密耳斯规范场理论获奖。

穆斯堡尔 MÖSSBAUER Rudolt Ludwig

(1929－) 德裔物理学家穆斯堡尔是1961年诺贝尔物理学奖获得者之一。他的发现有助于爱因斯坦广义相对论的证实。他的发现也用来测度原子核的磁场并研究固态物质的其他性质。

穆斯堡尔于1929年1月31日在慕尼黑出生。在当地的中等学校毕业之后，他于1949年入慕尼黑的高等技术学校。在毕业之前，他已经在这个学校教数学。1953年，穆斯堡尔开始研γ射线的吸收。1958年，他宣布了后来称为穆斯堡尔效应的发现；同年，他获得博士学位。

放射性同位素的核发射波长和频率无变动的γ射线，即是穆斯堡尔效应。这效应只在放射核被紧紧地束缚在晶体中时才出现。正常情况下，由于放射核的反冲，γ射线的能量将有变化。

1961年，穆斯堡尔成为帕萨迪纳的加利福尼亚工学院的物理学教授。三年后，他回到慕尼黑，任高等技术学校教授。

盖耳-曼 GELL-MANN, Murray

(1929－) 盖耳-曼因为把看起来混乱无序的大量亚原子粒子的知识整理出条理而获得1969年诺贝尔物理学奖。

盖耳-曼1929年9月15日生于纽约市。他年仅15岁便进入耶鲁大学，1948年获物理学学士学位。三年后他在麻省理工学院获博士学位。在新泽西州普林斯顿高级研究院进行一年学习和研究工作后，他于1952年进入芝加哥大学核研究所工作。

1953年，他提出了原子粒子研究的那个有点古怪的“奇异性”概念。奇异性是解释以往令人大惑不解的某些核粒子衰变模式的一种性质。随着奇异性量子数和相应的守恒定律的提出，人们对设法使混乱的大量粒子有序化产生了新的兴趣。盖耳-曼和日本物理学家西岛和彦独立地对这一课题进行了研究。

1955年盖耳-曼到加利福尼亚理工学院任教。1967年他在那里被任命为理论物理学的密立根教授。1961年他和以色列物理学家奈曼提出了八重法。受佛教八重道的启迪而进行命名，八重法把全部粒子归拢为简单有序的族的系列，有点和元素周期表相类似。由于他的族系列中还有空缺，盖耳-曼准确地预言，一些新粒子将被发现以填补这些空缺。经三年探索，1964年发现ω超子，填满了一个主族，也使八重法在物理学界得到公认。由此再进一步，便导致认为存在所谓夸克粒子的盖耳-曼理论。按此理论，六种夸克是大多数其他粒子的基本“砌块”。（参见：**原子粒子**，**“夸克、轻子、玻色子”**）

环境 ENVIRONMENT

见：**大气**；**地球**；**环境污染**；**水**

同位素 ISOTOPE

见：**化学**；**核能**

超声 ULTRASOUND

大部分人能听到每秒约为20到20 000周的声音（频率为20到20 000赫）。频率在20 000赫以上的声音称超声。有些动物能发射超声。例如蝙蝠能发射并听得见超声波，并利用超声波探测食物、导引航线。虫蛾感知到超声波，用来发现食肉动物。人们利用超声波确定机器部件中的裂缝，诊断并治疗疾病，探测海洋的深度。可以用机械的、电磁的和热学的设备，产生频率从20 000到几十亿赫的超声波。

回波定位 有些动物为了达到确定方位、回避障碍、捕获食物和群居中的相互沟通等目的，利用回波定位，从一个动物发射高频率的声脉冲，由目的物和周围环境的表面反射，再经动物解析。大部分蝙蝠、多种鲸鱼和海豚、少数鸟类和鼩鼱都使用这种技术。

超声学 超声学的领域涉及在木材、金属和其他弹性固体中产生频率超过20 000赫的振动波。大功率的应用有超声焊接和钻孔。超声波经常用来探测固体物质的内部缺陷。例如在铁路系统中超声波用来确定钢轨内部裂缝的位置。

医学应用 在医学中，使用电效应刺激压电晶体产生超声波。（压电晶体将压强转变为电效应，反之，将电效应转变为物理形变。将快速交变电场加在压电晶体上，使晶体快速形变，引起晶体周围空气迅速循环地胀缩，就产生超声波。）然后，这些波瞄准人体的特定区域。当这些波经过人体组织时，在组织的密度有变动处，例如两个器官的接触面，波就会反射回来。

反射回来的超声波由电子设备接收，确定回波的强度和反射回波的组织的位置；所形成的图像能够以静态方式显示，或通过使用快速多种声扫描，提供人体内部的动态图像。

处于频率较低范围内的声波，对人体组织极少甚至并无影响，而X射线或其他电离辐射在定位辐射中做不到这一点，这是使用超声的部分原因。超声图像提供胎儿在子宫内成长的有关信息。

超声除了广泛用来考查胎儿缺陷和其他异常外，还常用来提供儿童和成年人的心、肝、肾、胆囊、乳房、脑、血管图像。可用超声疗法治疗像关节炎那样病痛。特别高强度的超声能在局部区域产生应力和强热，引起化学的和物理学的变化。所以它可以用于除虫、消毒牛奶和外科设备。

统一场论 UNIFIED FIELD THEORY

一些物理学家已经尝试建立统一场论，用单一理论表述自然界全部基本力和基本粒子间的关系。至今，这类努力全失败了，虽然对几个假设的实验和测试仍在研究中。引力至今仍不能用统一场论说明。

在物理学中，分离物体间不论是行星间或电子间，其相互作用都可用场来描述。在19世纪中叶，麦克斯韦在他的电磁理论中建立了第一个场论，它说明了电磁和光间的联系。在20世纪初，爱因斯坦建立了广义相对论，即他的引力场理论（见：**相对论**）。随后，爱因斯坦和其他人尝试建立一个统一场论，在这个理论中，电磁力和引力作为一个单一基本场的不同方面，但未获成功。

在20世纪60年代和70年代中，粒子物理学家建议物质由两种基本构成单元组成：夸克和轻子。夸克永远由称为"强"力的短程力束缚在较大的可观察的粒子（例如质子和中子）的内部。而且夸克和轻子都经受第二种核力，即"弱"力，弱力要比电磁力薄弱。萨拉姆和温伯格独立地提出电弱统一理论。在20世纪70年代中期，又创立了对强力的类似的量子场论，它认为夸克间的相互作用是通过称为胶子的粒子的交换而完成的。（参见：**原子粒子；夸克**）

当代物理学家的目标之一，是强力的量子场论能否和电弱力统一在大统一理论（Grand Unified Theory，简称GUT）内。有迹象显示：不同种的力的强度随能量而变动的途径，使它们在高能量下会聚。然而，所涉及的能量极高，至今不能在实验室中产生。

化学 CHEMISTRY

化学是研究物质和物质所经受的变化的学科。化学在改进生活水平方面是重要的。举例说，它用于制造强度更大的金属，改善土壤和消灭细菌。它还使像橡胶、尼龙和塑料等物质可从其他完全不同的物质制成。

一般说来，化学家通过将物质拆开，再按所需要的不同的结合方式将它们拼合在一起，做出他们的贡献。分析就是说将一物质拆开，使化学家弄清楚它们是用什么制成的；然后通过合成把各部分组合起来，这样他可以制造全新的物质，或者制造相似于旧的，但是已得到改进的物质。

现在在实验室、大学、学院、研究所及企业，化学为许多人提供工作。化学的知识在很多职业中都是重要的，例如在医学、农业和工程等等，此处只举这几例。

化学有助于认识世界

化学家要了解宇宙是如何构成的，并且他如何才能改变宇宙中的物质使之造福于人类。化学家和物理学家一起已经使这些问题大大地简化。他们已经发现宇宙中所有的事物可归类为物质或能量，并且物质和能量可以相互转化。（参见：**能量；物质**）

进一步简化的方法是将物质按其物理状态（固体、液体、气体或等离子体），或按其组成的性质（元素、化合或混合物）来分类。

研究物质的物理状态得出了这样的结论：可以假设物质由处于运动中的粒子组成来解释物质四种形态的性能；这种关于运动中的粒子的理论称做物质的分子运动论，这理论用来解释许多常见现象，如液体的蒸发和气体的扩散。（参见：热）

物质的研究帮助化学家发现整个宇宙是由90多个元素构成的。因此化学这门学科包括研究这些元素以及当这些元素结合时所形成的化合物。已知化合物的数目，天然的和人造的都包括在内，现在估计约为700万。

原子理论

今日的化学家还知道元素由称做原子的很小的结构单元所组成。早期的一些先知先觉的希腊哲学家，提出过物质由原子组成，但是他们未曾做任何实验来证明他们的理论。现在有大量有关物质由原子组成的证据。列举一些如下：

1. 化学家已经发现在每个纯物质中原子数的比值总是相同的。物质的这种特性称做定比定律。

2. 有时元素以不同比例结合便形成两种不同的物质。例如，氢（H）和氧（O）可以结合或形成水（H_2O）或形成（H_2O_2）。在所有这种情况下元素按整数比结合。

如果假定所有普通物质——如植物、动物、岩石、土壤、空气、水、煤、石油及铁——都是由原子构成的，诸如此类的观察能够容易地得到解释。

原子理论可叙述如下：(1)普通物质由称做原子的微小粒子组成。(2)同一元素的原子具有相同的平均质量，不同元素的原子具有不同的平均质量。(3)化学反应发生于原子或原子之间。

元素是只含有一种原子的物质。例如，纯铜只含有铜原子。纯氧只含有氧原子。

元素结合起来形成化合物，它具有异于元素原来性质的一些性质，例如碳与氧结合成二氧化碳，这个化合物既不像氧，也不像碳。这种结合过程称做化学反应或化学变化。

物质变化的类型

物质可以进行三种变化：化学变化、物理变化和核变化。当汽油燃烧、面包被食用，或塑料由石油中生产出来，就发生了化学变化。在上述的每一种情况中原来的原子被保留下来，但是新的物质具有不同于原来物质的化学组成。这些原子已经重新排列成新的组合。

水沸腾，冰融化，醇被蒸馏，所有这些都是物理变化的例子。在所有这些作用中，被涉及的物质的化学组成保持不变。惟一的变化是在物理状态方面。

放射现象，铀-235裂变或氢原子聚变（形成氦原子），并释放原子能，这些都是核变化的例子。在每种情况下原子核的组成已经发生变化，并且一种原子已经变成另外一种。

元素结合的趋势

元素分为那些高度活泼的和具有惰性的或者不活泼的两种。物质发生反应或化合的趋势称做化学性质。同一元

素的原子可结合起来形成分子。例如，氧(O)、氢(H)、氮(N)及氯(Cl)诸原子可以形成 O_2、H_2、N_2、及 Cl_2 等分子。

大多数元素的原子会与别的原子发生反应形成化合物。即使在结合状态中，原子仍然可以反应。例如铁(Fe)，当暴露于潮湿的空气中时，进行一种复杂的反应。它们与空气中的氧分子结合，生成锈，而锈是氧化铁(Fe_2O_3)的水合物。

20 世纪 60 年代初曾发现重"稀有气体"——氪、氙、氡……能形成化合物。较轻的稀有气体——氦、氖、氩——是惰性的，不起化合作用。

化合物、分子和混合物

不同元素原子的化合趋势使多种类型和大量数目的化合物成为可能。化合物是由两种或更多的原子进行化学反应后制成的。因此化合物由两种或更多种的原子所组成。如水、糖和盐等这样一些物质都是化合物。

化合物的一定单元中的原子团称做分子。在一切情况下，分子具有的化学特性不同于构成分子的原子的化学特性。

分子也可以定义为以化合作用结合在一起的两个或更多个原子。这些原子可以是同一元素或不同元素的原子。例如，氢和氯结合成称做氢氯酸(HCl)的化合物。氯还可以与碳相结合形成清洗液四氯化碳(CCl_4)。

诸如牛奶、油漆、墨水、空气和混浊的水等物质都是混合物。与化合物截然不同，混合物未曾经过化学变化，也无一定的组成；因而混合物的组成不能用化学式来表示。此外，混合物通常能用物理方法如蒸馏、结晶或过滤来分离。(见：**胶体**)

元素符号

元素的名称通常以称为化学符号的缩写来表示，这个缩写或是这个元素的普通名称或是它的拉丁文名称的首字母或头两个字母。(参见：**化学元素；周期表**)

化学家使用一个符号不仅用来代表元素的名称，还代表那个元素的一个原子。由同一种原子组成的分子由指明原子数目的数字来表示。例如，H_2 是一个氢分子。这个式子表示两个氢原子构成一个氢分子。

少数固体元素如碳，在分子中没有确定的原子数目。实际上，该元素的每一个结晶是一个具有数目极多的原子的分子，因而所写出来的元素符号在它的右下方不写数字。固体金属具有结晶结构，但不含有清晰的原子团。

一些常用的化学术语

原子 保持元素性质的元素的最小微粒，原子是用寻常的化学方法不能分离的。

化合物 由两种或更多种原子以化合作用结合起来的。化合物中的原子能用化学方法分离。

元素 完全由一种原子组成的物质。元素不能用化学方法分离。

能量 物质做功的能力。

质量 物件或物体中物质的数量。

物质 凡具有质量，并占有空间的一切东西。

混合物 由两种或更多的元素或化合物组成的物质。其中每一组成部分仍保持它的独立性质。

分子 化合物中的最小粒子，它具有化合物的性质。

物理变化 物质的状态(固体、液体、气体或等离子体)的变化，而化学组成不变。

性质 物质的特性。物理性质(质量、熔点、硬度等等)是可以测量的，并能用数字表示出来。化学性质(价、离解等等)是确定物质如何进行化学反应的一些性质。

反应(或化学变化) 物质化学组成的变化。

化合物的化学式

正如化学符号代表元素的名称一样，称做化学式的符号集合体则代表化合物的名称。一个化学式表示出在化合物的每个分子中原子的种类和每个种类的数目。

这种简写方式除了用在表示元素和化合物的名称上。化学家还用符号和化学式来表示反应：

文字方程式：2 分子氢与 1 分子氧反应产生 2 分子水。

符号方程式：$2H_2 + O_2 \longrightarrow 2H_2O$

文字方程式：1 原子碳与 1 分子氧结合生成 1 分子二氧化碳。

符号方程式：$C + O_2 \longrightarrow CO_2$

在用化学式时必须永远记住一个警告。化学式印在纸上必然是"扁平"的。而化合物实际上以三维立体状存在于空间。例如，化合物甲烷(沼气，在煤矿中也称做"瓦斯气体")可以以化学式的形式写作 CH_4。这样我们将会假定 4 个氢原子围绕在中心碳原子四周排列成环形。实际上，氢原子以等距离和等角度配置，形成一四面体或"四面锥形体"(包括底部)，碳原子在分子的中央，氢原子在各个角上。在许多化学问题中(如设计新塑料)化学家必须考虑到分子实际上的三维形状。

原子的得、失或共用电子

在原子中，原子核被与原子序数或原子核中质子的数目相等的带负电荷的电子所围绕。电子排列成壳层。通常示出最外壳层，这是由于最外壳层是导致化学活性的一个壳层。

在外壳带有 1 至 3 个电子的原子倾向于失去电子。这样一来就使原子带正电荷——电子是负的，失去电子后便使一个原子带正电荷的粒子(质子)中的一部分未被中和。金属就有这类原子，因此常常被称做电正性元素。钠是这种元素的一例。它有一个外层电子，钠失去这个电子的情形可以用式子表示如下：

$$\cdot Na \longrightarrow Na^+ + e^-$$

由于失去电子(e^-)，原子核中所留下未被中和的正电荷用"+"号表示。

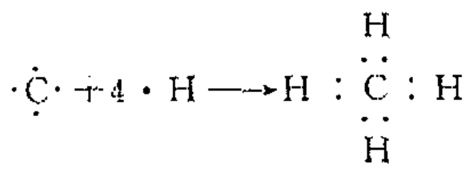
带有几乎足以使外层达到 8 个电子的原子倾向于借用它们所需要的额外的电子。这样，它们就获得了负电荷。非金属元素属于这种类型，称做电负性元素。氯是这类元素的一个例子：

$$:\underset{\cdot\cdot}{\overset{\cdot\cdot}{Cl}}: + e^- \longrightarrow :\underset{\cdot\cdot}{\overset{\cdot\cdot}{Cl}}:^-$$

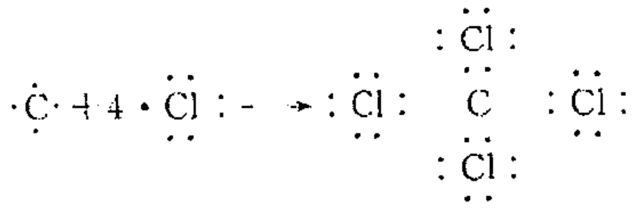
最活泼的金属元素是那些只需要失去一个或两个电子以使它们的最外壳层空出，并露出充满 8 个电子的次一壳层。所以发生这种失去电子现象，是由于许多电负性原子有足以克服电正性原子约束其外层电子能力的吸引力。同样，最活泼的非金属是一些只需要一个或两个电子用它们来填充其最外壳层的原子。

有 4 个或 5 个外壳层电子的原子通常通过与其他原子共用电子对来形成化合物，每个原子经常提供一个电子。带 4 个外层电子的碳原子是一个恰当的例子。碳可以与电正性元素如氢和电负性元素如氯同样成功地形成化合物。这些反应可表示如下：

形成甲烷



形成四氯化碳



在上面这两个例子中，碳原子共用 4 对电子。

化合作用中的化合力

原子以各种整数的比例进行化合。例如，氢原子和氧原子以 2 比 1 化合成水；碳和氧以 1 比 2 形成 CO_2；碳和氢以 1 比 4 形成 CH_4。

上面这些例子提示氢的结合力为 1，氧为 2，碳为 4。元素的结合能力常被称做它的价或价数。化合价取决于该元素与价数为 1 的元素（即 1 价元素）化合的方式。例如，含氢化合物的其他一些元素的化合价列表如下：

化合物	价数		化合物	价数	
HCl	H：1	Cl：1	NH_3	H：1	N：3
H_2O	H：1	O：2	CH_4	H：1	C：4

原子的化合趋势是由于在许多例子中原子倾向于形成具有 8 个电子（轻元素如氢及氦除外）的外电子层。已填满了电子层的原子是处于尽可能的最稳定的状态中。

原子通过两种方法之一可以达到稳定的构型：

1. 共用一对电子；或
2. 获得或失去电子。

这些方法可以用下面的电子式来举例说明（· 表示一个电子）：

例 1（共用一对电子）$H^{\cdot} + .H \longrightarrow H:H$

例 2（获得和失去一个电子）$Na^{\cdot} + .\ddot{\underset{..}{Cl}}: \longrightarrow Na^+ :\ddot{\underset{..}{Cl}}:$

在第一例中，每个氢原子（H）独自只有一个电子。未成对电子所显示出来的达到成对的强烈趋势导致两个氢原子用它们的电子配成对。这样便结合成为一个氢分子（H_2）。

在第二例中，钠原子失去其最外层的电子，把它给予只需一个电子以填满其外壳层的一个氯原子。失去电子后使钠原子具有稳定构型，因为在失去电子的这一层下面是另一个 8 个电子的电子层，这一层便成为外层了。这种转移电子的过程称为电离，其结果产生了离子。原子和离子是很不相同的。

价数的含义

原子与其他原子相化合的能力取决于该原子得到或失去电子的数目或取决于共用电子对的数目。这种能力又称为元素的价数。许多原子通过共用电子对来发生反应以形成分子。一个更精确的名词“共价”来表明元素通过这个过程的化合能力。原子通过得到或失去电子来发生作用以形成离子。化学家用电价来表明元素的化合能力。一个离子的电价是该离子上电荷的数值。

许多种原子，或通过共价或通过电价形成化合物，取决于外界条件。许多元素还具有几种共价和电价数值。

氧化数的用途

化学家需要不止一个数目来表示元素的化合能力。他们需要一个可以表示其氧化程度或状态的数值。

氧化这个术语最初应用于包含氧的燃烧过程。这样的过程可以通过氧与碳、硫或铁反应来举例说明。在每种情况下可以说已被氧化。在下例所列的各反应中，碳、硫、铁被氧化至两种不同的程度或不同的状态，将一个列在另一个下面。

$2C+O_2 \longrightarrow 2CO \quad S+O_2 \longrightarrow SO_2 \quad 2Fe+O_2 \longrightarrow 2FeO$

$C+O_2 \longrightarrow CO_2 \quad 2S+3O_2 \longrightarrow 2SO_3 \quad 4Fe+3O_2 \longrightarrow 2Fe_2O_3$

许多元素可以用这种方式被氧化至不同程度或状态。类似的反应不仅与氧，而且与其他很多元素都能发生。例如，碳、硫、铜和铁会在氯气中燃烧。在这一情况下，即使不牵涉氧，仍可说这些元素已被“氧化”。与氧的反应被用做其他反应的模式或代表。一些与氯发生氧化的产品是：

$CCl_4 \quad SCl_2 \quad CuCl_2 \quad FeCl_3$

氧化数或氧化状态是用于描述一元素氧化程度的术语。在电价化合物中元素的氧化数与每个离子的电价相同；但对于共价化合物来说，其氧化数与其共价则不同。共价化合物之氧化数的定义是：假如原子在分子中被看做是一个离子，该原子应具有的电荷便是它的氧化数。这种区别是重要的，由于若干原因，尤其是因为在许多化合物中原子组成称为根的原子团，如锰的氧化物（MnO_4^-）。在这个根中，价键为共价；但是为了确定氧化数，每个原子必须被这样认为，好像它是作为一个离子而独立存在的。

电价、共价及氧化数的比较

化合物	电价	共价	氧化数
NaCl	$Na^+ = +1$	——	$Na^+ = +1$
	$Cl^- = -1$	——	$Cl^- = -1$
H_2O	——	H=1	H=+1
		O=2	O=-2

CH_4	——	C=4	C=-4
		H=1	H=+1
CCl_4	——	C=4	C=+4
		Cl=1	Cl=-1
CH_2Cl_2	——	C=4	C=0
		Cl=1	Cl=-1
		H=1	H=+1
$KMnO_4$	$K^+=+1$	——	$K^+=+1$
	$MnO_4^-=-1$	Mn=4	Mn=+7
		O=1	O=-2

第一个例子(NaCl)表明电价和氧化数有相同的数值。其次三个例子表明共价和氧化数的区别只在于有无电荷。在 CH_2Cl_2 中，H 和 Cl 的强烈相反的电价的特点说明所有的氧化现象，而 C 无电荷。化合物 $KMnO_4$ 离解成正钾离子 K^+，而高锰酸盐根 MnO_4^- 却是负离子。根离子本身通过共价键结合在一起，但是为了确定氧化数，每个原子必须认为好像它们如离子那样独立存在。

氧化-还原反应

包含氧化数变化的反应称做氧化-还原反应。如果氧化数成为更大的正值，一个元素便被氧化了。例如在下式中：

$$\overset{0}{Zn}+2\,\overset{+1-1}{HCl_2}\longrightarrow\overset{+2-2}{ZnCl_2}+\overset{0}{H_2}$$

锌的氧化数已从 0 变为 +2。还原这个术语描述的是一个相反的过程，即在此过程中氧化数成为更大的负值。例如在同一式中，氢即被还原。氧化数已从 +1 变为 0。如果从头到尾在整个反应中所有的一切统统被计算在内，氧化和还原是相等的，正负值相互抵消。(参见：**催化剂；晶体**)

化学的各个领域

化学是一门广阔的学科，它已分成如下的几个专门领域：

分析化学 确定存在于物质中的每个元素或化合物的种类或数量。定性分析涉及鉴别样品中的各种元素或化合物。定量分析指示元素存在的量(见：**化学分析**)。分析化学的技术包括使用分光镜、质谱仪、X 射线管、紫外荧光及放射性同位素。(参见：**辐射；光谱及分光镜；X 射线**)

生物化学 研究有生命物质的化学组成及发生在有生命的有机体中的化学过程。这个领域对农业、生物学、细菌学、药物学、医学及牙科医术特别重要。(见：**生物化学**)

化学工程 化学与工程相结合，以开发或改进生产足够销售产量的所需要的化学药品的工业过程。此前这些药品仅仅少量生产或在实验室中制备。

胶体化学 研究那些较普通分子大，但比用最好的光学显微镜所能见到的物体还要小的物质粒子的性能。这样大小范围的粒子(直径为 10 至 2 000 埃)具有许多独特的性质。胶体化学涉及如橡胶、塑料、纤维、病毒、染色体及气体等物质。在这个领域内使用的工具包括超速离心机、超显微镜及电子显微镜。(见：**胶体**)

电化学 研究由电流产生的，或产生电流的化学反应。还研究溶液的导电性和在电极上发生的现象。电化学提供化学分析方法和通过电的手段生产化学品的方法。(见：**电化学**)

无机化学 研究所有的元素及不含碳的化合物。它们包括金属、卤素及碱等。(见：**无机化学**)

核化学 研究放射性、原子核和核反应，以及应用于医药和工业中的放射性同位素的研制。(参见：**核能；放射性**)

有机化学 研究碳及其化合物。已知化合物中碳化合物约占百分之九十六(大约 6.5 百万种)。有机化学家所研究的碳化合物为动植物组织、石油、碳水化合物、蛋白质、塑料及橡胶等。(见：**有机化学**)

物理化学 应用物理方法研究化学问题。这个领域所包括的内容为原子及分子结构；反应速率理论；反应机理；化学平衡；反应中能量的变化；固体、液体、气体、等离子体及溶液的理论；电化学以及放射性。(见：**物理化学**)

化学史

现代化学大约仅有 200 年历史。较早期的化学史可以分为三个阶段："黑色魔术"、炼金术和"早期近代"，即从炼金术过渡到真正的近代化学阶段。

"黑色魔术"——第一阶段

黑色魔术阶段从史前期到公元初。在整个这个漫长的阶段里，神秘主义和迷信盛行。大多数人相信自然界的进程由精灵来控制，而且他们依靠魔术促使精灵在他们实际操作时给以帮助。对有关宇宙是如何形成的这一事实的理解，进展甚微，但他们却积累了许多实际知识，他们认识了一些元素，如铁、金和铜。在诸如玻璃制造工艺、金属加工和合金处理等技术上他们也有了一些进展。这就是苏美尔人、巴比伦人、埃及人及希腊人的文化时期。

古希腊哲学家如泰勒斯和亚里士多德推测物质的性质，可是他们的理论与近代化学理论极少共同处。他们相信土、空气、火和水(一些还想像第五种物质，称做"第五原质")是构成所有物质的基本元素。他们推测有可能从一般物质除去如硬度、热或冷及颜色等性质，并将这些物质结合在一起，便可制造出更稀有或更有价值的物质。他们知道铁能够由混浊的褐色岩土制备，也知道青铜可由铜混合锡制成。因此做这样的事似乎有可能，即倘若黄色、硬度及别的性质能适当地结合在一起，那么产品将会是黄金。这些推想引起了炼金术。

漫长而无效的炼金术阶段

从大约公元初至约17世纪和18世纪这一段时期被认为是炼金术阶段。炼金术士相信借助于称做哲人石的神秘物就能够把多种金属转变成黄金，可是他们从来没有找到过哲人石。许多新元素和新化合物的发现就是在这个期间完成的，但是有关物质的基本性质或化学反应的真实情况，炼金术士却很少做出有价值的发现。他们不能如此做，因为他们的基本理论远远不能像近代人们解释自然现象那样来描述那些实际上所发生的现象。（参见：**炼金术**）

到了13世纪，像培根、马格努斯及卢利开始意识到哲人石的寻找完全是无用的。他们开始感到炼金术士还不如去探索一些途径和办法，利用有用的新产品和新方法做些有助于现实的工作。到了16世纪，进取的有天才的瑞士人冯霍恩海姆是这种新倾向的另一位重要领袖。像许多在那个时代有学问的人一样，他取了一个拉丁文的名帕拉塞尔苏斯（Paracelsus）即"超过塞尔苏斯"，塞尔苏斯是公元1世纪杰出的罗马医生。

帕拉塞尔苏斯主张炼金术的目标应该是治病，而不是无效地探索黄金。他说有关的几个元素是盐、硫和汞（长期以来与"长生不老药"相关联），如果这些元素以合适的比例存在于身体当中，将导致健康。他在此基础上行医，并吸引了许多追随者。这便是化学医学或将化学应用于研究医学的时期。

玻意尔是最早的真正科学的化学家之一。在《怀疑派的化学家》一书中他排斥了化学医学家的元素，并创始了现代公认的元素表。他的名字还与涉及气体的体积和压力定律有关联。1661年他帮助建立了一个科学学会，尔后该学会成为英国皇家学会。

近代化学的萌芽阶段

玻意尔之后大约两个世纪，科学家们继续完成了有益的发现。然而在基础理论方面他们并无进展，因为他们远远没有理解物质的真实性质，也远远没有知道在化学反应中所发生的实际情况。

或许在这些世纪中混乱和失败的最大的根源是称为燃素论的燃烧理论。它由化学家贝歇尔和施塔尔创始。按照此学说，燃素，像古代哲学家学说中的黄色和硬度一样的"要素"，在燃烧过程中它被认为从物质中逃逸出来。

到了这个时候化学家们已经学习如何运用获得知识的"近代方法"，即通过实验来检验理论（见：**科学**）。但是实验并没有证明燃素的存在。

当英国化学家普里斯特利于1774年发现一种气体（现在称做氧）在燃烧过程中必不可少，弄清燃烧真相的第一条线索被发现了（大约在同一时间瑞典化学家舍勒也发现了氧）。早几年另一位英国化学家卡文迪什已经发现了氢元素。法国化学家拉瓦锡运用普里斯特利和卡文迪什的发现在一系列实验中解决了燃烧过程的问题。他系统地阐述了现在所采纳的燃烧理论（见：**拉瓦锡**）。这个贡献常被认为标志了现代化学的起始。

原子理论和现代化学

拉瓦锡的成果让化学家首次获得有关化学反应性质的正确理解。有关物质性质的另一块基石是几年后建立的原子学说，它由一位英国教师道尔顿于1805年提出。这学说表明物质是由称做原子的微粒组成的，化学变化在原子或原子团之间发生。

化学终于具备了关于物质的性质和化学反应本质的正确观点，这门学科开始迅速大踏步前进。相继迅即出现了普鲁斯特的定比定律和盖-吕萨克的气体定律。在这个时期还出现了意大利化学家阿伏伽德罗关于一定体积气体中的分子数的阿伏伽德罗假说。1811年阿伏伽德罗将同温同压下一夸脱（或别的体积）与相同体积的任何另一气体含有相同数目的分子归入到道尔顿学说中，即单一元素的原子都具有相同的重量。阿氏的计算还表明：如果气体是一种元素，如氢或氧，其原子一般以成对方式结合在一起成为分子（写做 H_2、O_2 等）。

而且科学家还知晓不同气体体积相等时，其重量不相等。阿伏伽德罗假说意味着这就说明单一原子的相对重量。这一点已被证明是正确的，当今阿伏伽德罗定律可以叙述为：在相同的温度和压力条件下，相等体积的一切气体都含有相同的分子数。

大约1806年戴维分离出一些元素，加入正在不断增加的元素表中。1826年贝采利乌斯分析了数百种化合物，并公布了准确的原子量表。1828年维勒合成尿素，证明了有机化合物能够在实验室中制造，给化学开辟了一个广阔的新领域（见：**有机化学**）。从这时开始，人们形成了有机化合物具有几何结构的概念。大约在这个时候凯库勒提出了苯的环状结构。1834年法拉第制定电化学的一些定律。（见：**法拉第**）

门捷列夫的近代理论基础

在19世纪中叶以前，已经知道的元素大约有60种之多。纽兰兹、坎尼扎罗、钱古尔德瓦以及其他人已经注意到某些元素很相似。这些人的工作使门捷列夫有可能于1869年公布第一个周期表。此表成为理论化学的基础。（见：**周期表**）

本生灯及许多仪器，包括分光镜在内的发明者本生是属于这个时期的（见：**本生**）。法国化学家巴斯德是世界伟大天才之一，通过他对一些异构体具有旋光性的发现，对化学组成与分子结构之间的关系给予了新的阐明（见：**有机化学**）。他在抗毒素方面的工作使生物化学发生了巨大的变化。（见：**巴斯德**）

物理化学的重要性

在19世纪最后25年期间，由于奥斯特瓦尔德和范托霍夫关于化学平衡的工作及阿伦尼乌斯关于电离理论的工作，物理化学变得重要起来。吉布斯完成了将物质的三种状态（固体、液体、气体）之间的平衡关系列出称做"相律"的数学公式。理查兹做了测定精确原子量的工作。在1894年和1898年之间，瑞利和拉姆齐发现了氩及其他惰性气

体。

1900年后化学家从物理学中所做的原子的电性质的发现开始获得无法估价的帮助。莫塞莱对不同元素的X射线的研究给各种元素确定原子序数。冯劳厄、布拉格爵士及其子为用X射线测定结晶的结构奠定了基础。阿斯顿研制了质谱仪，并用它来证明同位素的存在。随后，尤里分离出氢的同位素，它已成为非常重要的化学示踪物。（参见：**核能；放射性**）

20世纪化学

1896年贝克勒尔和居里夫妇已经发现了放射现象。这就为核化学和核物理学奠定了基础（见：**居里一家**）。1919年卢瑟福制造出首次人工衰变。1934年约里奥-居里夫妇发现所有元素都能变成放射性的（见：**卢瑟福**）。截至1939年，哈恩、斯特拉斯曼和迈特纳确认了铀裂变的存在。截至20世纪40年代初人们已将核反应用来制造包括原子序数1至98在内的所有元素的放射性同位素。西博格对此工作做了很多贡献。

20世纪最初25年中，卢瑟福的工作为描述原子结构奠定了基础。路易斯、朗缪尔及玻尔于1912－1925年期间提出了初步定性的原子结构概念（见：**玻尔**）。更切实可行的前景是由物质的波动理论（1925）所提供。20世纪20年代末及30年代初鲍林对化学键的性质以及原子和分子结构与它们的性质之间的关系的认识做出了很多贡献。

化学中最值得注意的成就之一是已经研制出或合成了整批新型材料。例如，在1862年以前就研制出如硝化纤维那样的早期塑料，而在20世纪以前，赛璐珞在商业上一直未获成功。早期塑料依赖通常由纸浆中得到的纤维中的大分子。然而1909年比利时出生的美国发明家贝克兰获得酚醛树脂专利，这是他已研制成的一种耐化学性的硬塑料。作为电的绝缘体，它可用于各种电器设备。

酚醛树脂在商业上的成功激发了对塑料工业的浓厚兴趣和投资，对煤焦油产品和碳氢化合物的研究，以及对复杂分子理论上的理解。这种活动导致了新染料和洗涤剂，而且它还导致了成功地控制分子以生成具有特殊性质如硬度或柔韧性的材料。（参见：**塑料**）

随着技术发展，常常需要催化剂和完善的设备来制造这些聚合物——即由简单的结构构成复杂的分子。化学在这方面的更重要的进展之一是发展那些生产用于纺织品及其他用途的合成纤维，以及生产合成橡胶的工业。

化学知识增长的一个甚至更为引人注目的结果是近代药物工业的扩展。值得注意的早期成就包括1899年的乙酰水杨酸（阿司匹林）、1910年的六〇六（治梅毒药）及1932年的偶氮磺胺（有效的抗链球菌药物）的研制和1928年青霉素的发现。

从20世纪50年代以来对一般化学过程，特别是对有机化学与生物化学反应的理解的迅速发展已给制药工业，当然也给疾病的治疗，带来了一场革命。另一个化学、物理学科学技术进展的结果是这些早先独立的学科之间的界限的消失。例如生物化学和生物物理在分析和合成DNA和RNA方面已经获得惊人的结果，DNA和RNA对遗传机理与蛋白质的合成，也即对生命本身，极为重要。生物化学家还能够把微生物当作小型化学工厂，通过遗传工程的技术来制造生物物质，如各种激素。

撰文：Alfred B. Garrett

分析化学 ANALYTICAL CHEMISTRY

见：**化学**

化学分析 CHEMICAL ANALYSIS

依照物质所含的元素或化合物来确定物质组成的学科叫做化学分析。定性分析是化学的一个分支，它涉及存在于样品中的元素或元素组的鉴定。定量分析涉及测定样品中一种或多种物质的含量或百分数。

定性分析

定性分析中所用技术的复杂性随样品的性质而变更。在一些情况下只需要证明存在某些元素或某组元素，这时可直接对样品采用一些特效试验如点滴试验或焰色试验。更多的情况是样品为一复杂的未知物混合物，为了鉴定所有的未知物必然要做系统分析。

一个无机物的全系统分析包括几个部分。首先可进行初步干燥试验。这个试验可包括加热样品以检测如碳或水的存在，出现黑烟或炭显示存在碳成分，或出现湿气则显示存在水分，还可包括将样品放入火焰中，并观察所产生的颜色。

焰色试验 某些元素能够凭借它们使火焰呈现特殊的颜色来进行鉴别。这个试验的做法是将一些样品放在用盐酸浸湿过的铂丝上，把铂丝伸入火焰中。盐酸形成氯化物。强烈的焰色取决于未知物的成分，例如钾产生紫色火焰，钠为嫩黄色，钙为红色，铜为嫩绿色。若用一分析光源光谱的光学设备即分光镜来观察火焰，甚至能做出更多的分析结果，一些稀有金属如铟、铊及铯所发出的各种差别细微的颜色便是用这种仪器发现的。

点滴试验 点滴试验只需要1或2滴溶液在一载片或纸上来做。许多证实试验——即确定某一被鉴定的元素的试验——在定性分析中能够用点滴试验来完成。点滴试验凭借颜色的变化或者从溶液中沉淀出固体来快速鉴定在一种物质中有某种怀疑存在的元素。

湿法试验 完成了初步试验后，通常将样品溶解于水中，以便分析存在的阴离子和阳离子。阴离子是带负电荷的原子或原子团；阳离子是带正电荷的离子。随后的步骤基于这样的原理：即用一系列的化学药品处理溶液，然后通过每一次化学处理使一组未知物分离开来，然后通过一系列化学药品处理，使一大组分成亚组，或者使未知物单个地分离开来。当某个未知物已被分离后，应进一步检验其存在，并通过定量分析以确定其存在的数量。将物质分成几部分分别加以溶解，并对每一部分采用不同的步骤以检测特殊的阳离子和阴离子。阴离子的分析较阳离子的分析更困难，更缺少系统性。就分析阴离子而论，当存在几种阴离子时，会出现许多困难问题。其中有些问题若用下面所描

述的色谱法，即可迎刃而解。

定量分析

各式各样的方法可用于定量化学分析。这些方法可分为化学的或物理的。化学方法有赖于通过这样一些化学反应，如沉淀、酸碱中和或氧化还原形成新化合物。严格的化学方法的主要类型称为重量分析和容量分析。

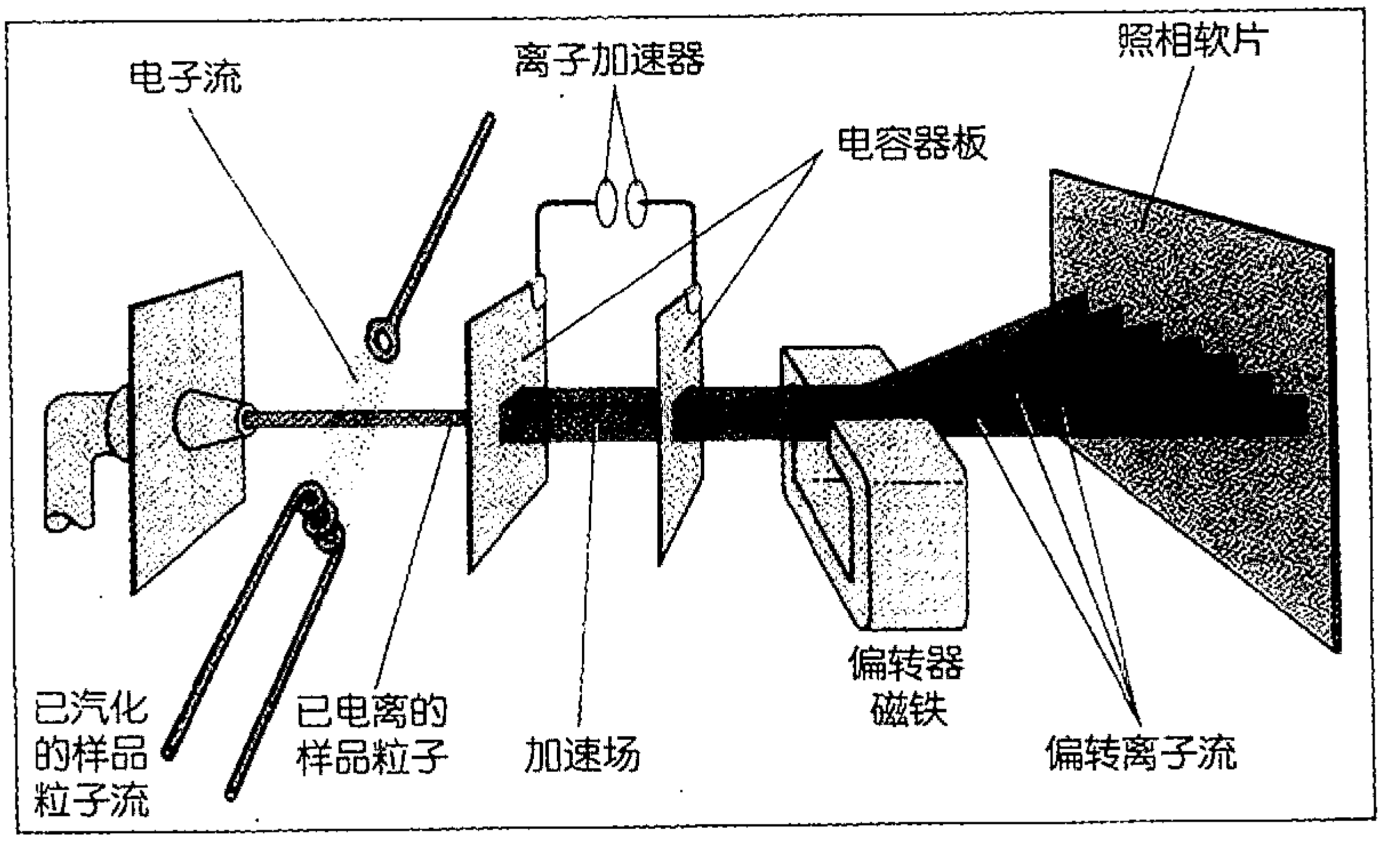
用于定量分析的物理方法有多种。这些方法包括测量一些物理性质如密度或折射率——即未知物溶液折射光的程度。全化学分析往往需要采用数种方法：定性法为了从样品中分离所需要的各种组分，定量法为了测定各组分的量。

用于一切定量分析的基本工具为分析天平，它用于准确地称量样品和沉淀。对于一般分析工作，此天平应能测定0.1毫克的质量差。在微量分析中此天平必须较一般分析天平灵敏约1 000倍。为了特殊工作的需要，人们已经研制了灵敏度较此更高的天平。

重量分析 在重量分析中一般遵循的步骤是：(1)制备含已知重量样品的溶液；(2)分离所需要的组分；(3)称量已离析出来的组分；(4)根据离析出来的物质所观测到的重量来计算样品中特殊组分的重量。

容量分析 由测量物质所占的体积来测定物质数量的定量化学分析叫做容量分析。这个方法最通常采用已知浓度的称为滴定剂的第二种物质，让它与未知浓度的物质相结合。这个步骤一般通过从一支滴定管逐渐加入标准液，即已知浓度的滴定剂来完成。滴定管实质上是一根长的带刻度的测量管，在其下端有一活栓和一导出管。当达到等当量点时，即停止加入滴定剂。等当量是指样品中组分的全部都已与加进样品中的滴定剂发生了反应的那一点。反应已完成的那个实验点称为终点，可用某种信号来标志。这个信号可以是化学指示剂的颜色变化，或是在滴定过程中所测量的电性质的改变。

要想给重量和容量分析操作方法一个好的说明，可以探讨一下用于测定样品中氯离子即带负电荷氯原子数量的方法。在重量分析中，试验者用硝酸银溶液处理样品，使氯化物沉淀成为看得见的氯化银。样品中氯化物的量由这个沉淀出来的氯化银的量显示出来。在容量分析中，将样品与已知量的硝酸银溶液混合，对恰好与样品中的氯化物充分反应所需的溶液的体积加以测量。从这个体积和溶液的已知浓度来计算，就可以确定样品中氯化物的含量。



在质谱仪中待分析物质的汽化了的原子先由一束电子流离子化，然后通过电场加速，再通过一个偏转磁铁，离子的电量愈大，质量愈小，它们被磁铁偏转的程度就愈大。由各种偏转程度所成的图谱的照相记录可以鉴定原始样品中所存在的各种离子。

色谱

色谱是极为通用的一种分离化学物质的方法，它运用这样的事实，即含几种物质的混合物的气体或液体流，以不同的速率通过一种静止的物质而移动。这种静止物质通常为分得细小的固体，或为一张过滤材料的薄片或为附着于固体表面上的薄薄的一层液体膜。

照这个方式就能分开非常复杂的混合物。此方法广泛用于生物源的化合物，如蛋白质的氨基酸碎片。石油的各种复杂混合物，以及香料和调料的各种挥发性混合物，其中有许多混合物含有数百种不同的组分。

柱色谱法 将样品倾入一用惰性液浸湿的三氧化二铝或二氧化硅晶粒填充的直立玻璃柱中。当溶液通过柱子移动时，溶液的各组分以较大或较小程度吸附到结晶的表面上，因而以不同的速率移动。通过取出固体柱，并用物理方法分离不同的谱带，或通过使用细心选择的溶剂分别将各组分从柱中淋洗下来，便能够回收每个已被分离开的组分。然后可以定性或定量地分析每个已分离开的组分。

纸上色谱法 在这个方法中，将待分析的化学混合物溶于溶剂中，然后"点样"或滴在一张滤纸上。滤纸干后，把纸条挂在底部有液体溶剂的气密室内，纸条的底部浸在溶剂中，当溶剂靠毛细管作用沿纸向上移动时，那些不同的化合物，因为它们的组成各异，以不同速率移动。在纸上分开的化合物往往是无色的，所以将纸取出，干燥后，可采用能使特定的化合物成为可见的喷显剂加以处理。

气相色谱 用这个方法时，可将柱子用活性炭或二氧化硅粉末填充，或者在柱的内壁用凝胶细粒涂敷。将待分离的化学混合物不是溶于液体中，而是靠加热使它汽化或者蒸发成气体，然后用气流，最常用的为氦、氢、氮或氩，使它通过柱子移动。汽化的化合物以不同的速率移动，并分离为界限清晰的区域。射出的蒸气可以用电或电子方法鉴定。

仪器分析

20世纪30年代以来迅速发展起来的仪器方法已经使进行化学分析的方式发生了巨大的变化，这些仪器的应用范围，从复制高度自动化和专门化的实验到通过未知物与不同形式的能量起反应来断定物质的存在及数量。最经常使用的三种仪器分析类型是：

光谱法 倘若原子或分子吸收能量，就被称为"激发"到一个更高的能级。当它复归正常时，能量作为辐射"谱线"再被放出。辐射的波长决定于两个能级之差，并随原子或分子而异。定性分析与这些谱线的波长有关，而定量分析则与它们的强度有关。

X射线荧光分析 当X射线轰击靶时，所发出来的X射线波长可用于鉴别靶本身所含的元素。

活化分析 一个不具放射性的样品通常可用中子束辐照，使它具有放射性。测量这个已有放射性样品的各方面特性，即可鉴定原样品中的诸元素和它们的比例。

物理化学 PHYSICAL CHEMISTRY

在物理化学这一术语中，物理这个单词指的就是物理学，即基本的物理科学（见：**物理学**）。物理化学运用物理学来研究化学问题，并提供对化学的更深入的理解。物理化学的其他名称是化学物理和理论化学。

有些物理化学家首先关心的是测量化学反应之前、之中和之后的化合物的物理性质和化学性质；另外一些物理化学家用有关的分子来解释化学现象；还有一些物理化学家专心于理论工作，计算或预测化学性质，而不是测量这些性质。因此物理化学贯穿化学的各个分支。

物理化学家尤其关心的是建立整体的性质和分子之间的关联。整体的化学性质包括化学反应热以及反应进行得多快，而分子的性质则包括反应中所包含的分子大小及其形状。已经储存了许多数学公式可供物理化学家利用，以便使物质的任何性质几乎都可与构成物质的分子结构联系起来。各式各样的实验技术，再加上量子力学和统计力学的操作知识是建立上述关系的至关重要的工具。（见：**量子力学**）

物理化学家往往有博士学位，并已经选修过电子学、光谱学、高等物理、高等数学等课程，以及下面所讨论的化学专门领域内的课程。他们在工业的和学术的研究机构及大学里工作。有时候物理化学家与生物学家、物理学家和工程技术人员一起进行实用的和理论的研究。

物理化学的分支学科

物理化学是一门宽广的学科，它包括许多研究领域。它的主要分支学科列在下面。

化学热力学 化学热力学的主题是研究伴随化学反应的能量变化。在这个领域内，研究人员应用物理学的一个分支——热力学，来阐明这些能量的变化。热力学的中心思想是任何一个物理体系将自发地趋近一种稳定的状态，通称为平衡。这种状态可以通过确定体系性质，如压力、温度或化学组成加以描述。如果外界的约束条件（如温度或压力）有所改变，那么这些性质通常也都要发生变化。热力学这门科学企图通过数学来描述这些变化，并预测体系的平衡条件。（见：**能量**，**"热力学诸定律"**）

当应用于化学时，热力学涉及称为热力学函数的特性参数。这些参数包括自由能——衡量物质能够反应的限度；熵——衡量体系的混乱状态和热容量即焓。当一个反应已经稳定下来，它即处于平衡状态，可以用称为平衡常数的数值来表征，平衡常数是最终产物的浓度与起始反应物浓度的比值。如果化学家知道体系中的自由能，他们便能够预测反应能否自发地进行，或需要输入能量才能进行。他们无需完成反应，就能计算出平衡常数。这是化学热力学的重要成就。在化学生产过程中化学热力学起了巨大的作用。化学热力学对预测某些化学反应发生的可能性提供了一个精确的理论框架，但是化学热力学却不能预测化学反应的速率。

化学动力学 化学动力学既涉及反应速度，又涉及在分子水平上实际上反应是怎样发生的。这些变量取决于若干因素。化学反应往往包括中间步骤，并且因副反应和逆反应使反应更复杂化。一般说来总的反应速率决定于速率最慢的中间步骤。在逆反应中，产物相互之间互相作用重新形成原始反应物，逆反应对化学平衡的影响很大。

升高反应温度，提供了足以破坏化学键的能量，可使反应速率加快。在一些新近的研究中，研究工作者不是让反应物在烧瓶内相互接触，而是让高速分子束在真空中相互接触，以研究少数分子是如何进行反应的。

在反应过程中，反应物和产物的浓度随时间而改变。物理化学家试图测定这些变化的速率。化学方法通常太慢，而物理方法一般不会干扰体系，且能瞬时见效，甚至还能检测出仅仅存在百万分之一秒的中间物质。这样一些方法可以基于颜色的变化、光偏振或其他性质。对由这些方法获得的数据进行数学分析可用来推断反应的分子机理，但是迄今尚无普遍的理论，能够从有关的分子性质预测反应的速率。

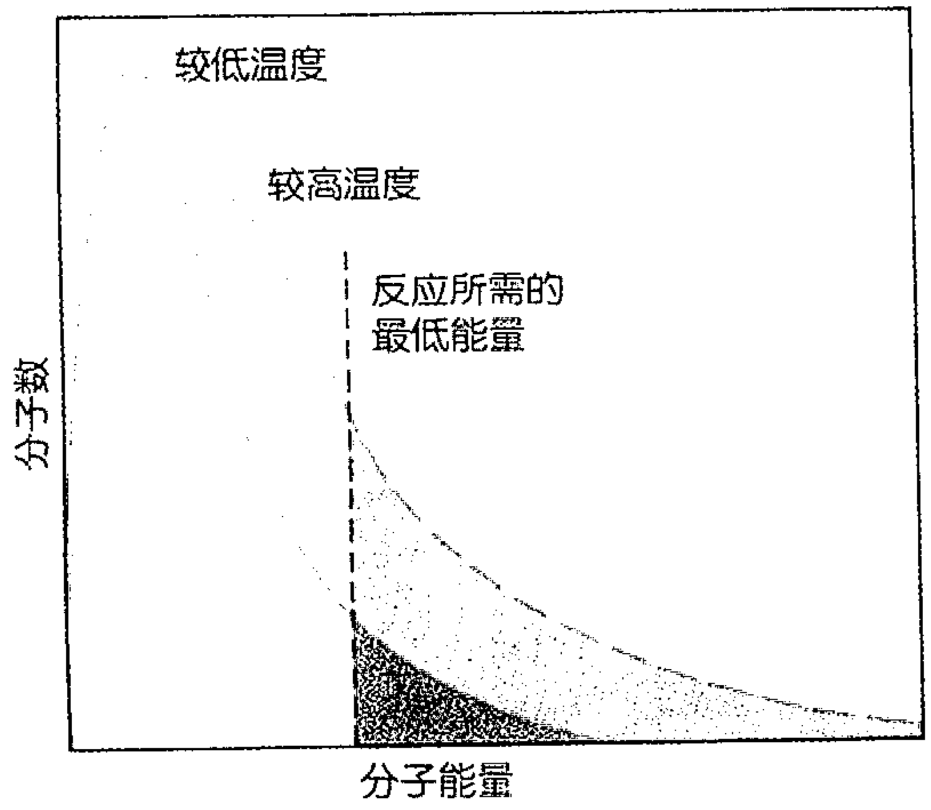
催化剂是这样一些物质，它们可加速化学反应，而本身不会被消耗掉或发生变化。它们用于有机化合物的工业生产，并用于活细胞组织中的某些反应。物理化学家相信催

化剂可另辟不同的反应途径以得到同一产品。（见：催化剂）

气体状态 气体的结构和物理性质的研究在物理化学中起主要作用。它提供了物质最简单的物质模型之一。化学家将气体分为两类：理想气体（即纯理论气体）和真实气体。后一气体在低压和较高温度下，其性能就像一理想气体那样。在这样的条件下，气体的全部性能可以用理想气体定律来描述。理想气体定律将气体的体积 V、压强 P 和温度 T 关联起来，可用方程式表示为：

$$P \times V/T = R$$

式中 R 为气体常数，所有气体均有相同的数值。（参见：物质）



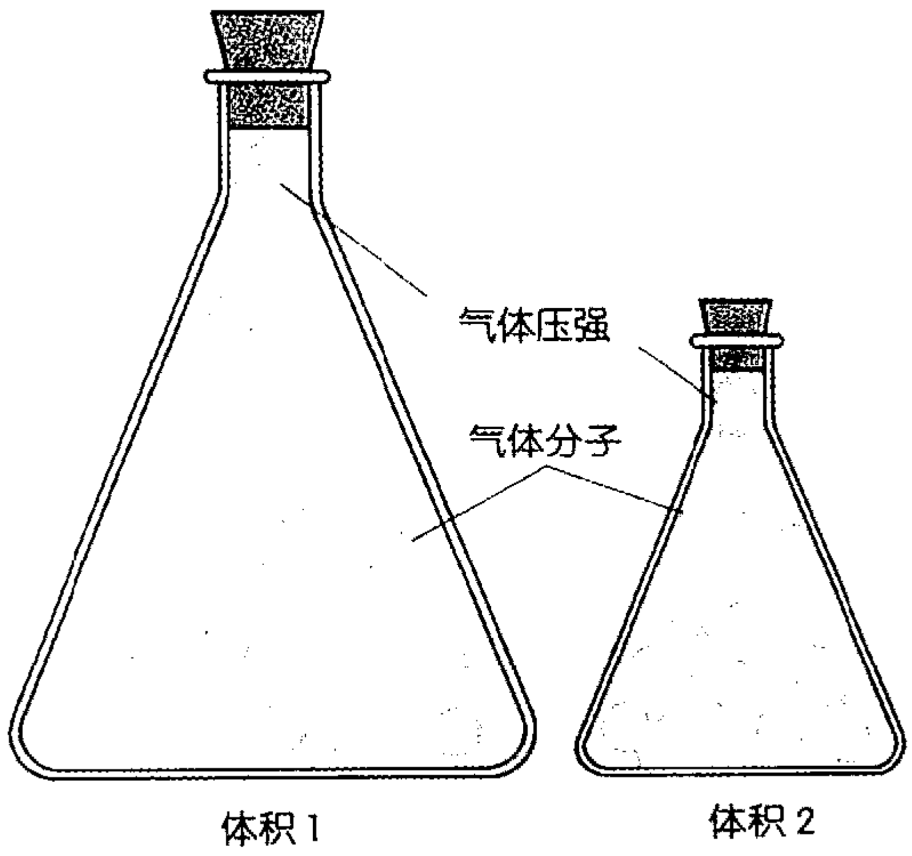
在较高温度下比在较低温度下分子运动得更快一些，并且碰撞得更频繁。然而仅仅少数碰撞能导致反应的发生。碰撞的分子必须具有一定的最低能量，这样的碰撞才能导致反应的发生。在较高温度比在较低温度下，将会有更多的分子发生反应。

理想气体定律可以由 D. 伯努利于 1738 年研究出来的气体的分子运动学说推导出来。它的主要假定是气体由非常大量不相互作用、又无大小的分子所组成，这些分子作直线快速运动，直到它们与其他分子碰撞并弹回来，而无能量损失。容器内所盛的气体施加于四壁的压强乃由于这些气体分子与容器壁碰撞的缘故。

不久科学家就认识到气体分子确实是相互作用的——实际上分子相互间存在引力。从这个事实出发，研究工作者推断出即使人们认为永久气体如氧、氮和氦，如果在某些通常称做临界温度的温度下，也能被液化。液化作用已广泛用在工业上和其他方面。二氧化碳以液体状态运输到各生产厂，液体氧和液体氮在工业上已被使用，液体氦使火箭发动机在准备发射阶段中保持低温。

液体状态 液体是什么，这个问题集中在液体分子的描述上。物理化学家已发现分子在液体中的排列有些像它们在固体中的排列，不过只在非常小的范围内是如此。液

理想气体定律



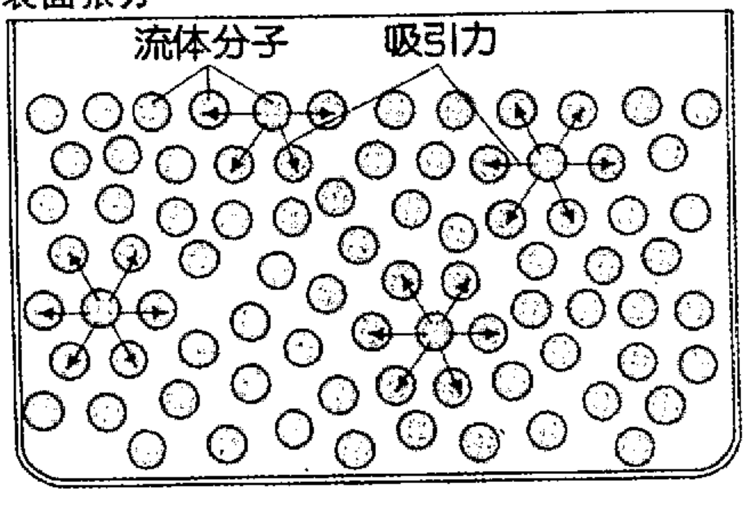
遵循理想气体定律，当气体压缩至一较小的体积时，分子碰撞的次数和速率增加了，从而提高了气体的温度和压强。

体可以被认为或者是压缩的气体，或者是高度无序的固体，在这种固体中，分子较之在气体中彼此之间的位置大大地靠近了。

物理化学家所研究的独特的一类物质是液晶。这类物质像液体一样流动，但是还保持晶体的有序结构的一些特征。液晶通常用于数字表的显示装置中。人们最不清楚的液体是氦的同位素氦 II。在极冷的温度，它完全无黏滞性——它呈薄膜状爬上容器的壁、流过容器内壁，并沿容器外壁流下来。

物理化学家还研究液体的其他性质，并研究这些性质如何与液体分子间的相互作用联系起来。例如表面张力是一种收缩液体表面的力。它是形成水滴的主要原因。表面张力是由表面分子彼此相互吸引，并由内部分子向内吸引而引起的。

表面张力



当表面分子——只有三面为其他分子所围绕——彼此被吸引、并且被液体内的分子向内吸引时，产生表面张力。

固体状态 物理化学家也研究固体的分子结构和性

质。大多数的固体由非常小的晶体组成。晶体不同于液体在于它具有刚性的三维分子结构。这种晶格使结晶具有特殊的形状和特殊的性质,其特殊性质包括硬度、电导性和光电导性。所有这些特性都受到晶体中分子结合类型的深刻影响。

对晶体的研究称为结晶学。几何结晶学涉及晶体外形。X射线结晶学涉及结晶的内部结构,特别涉及晶体内原子的空间排列。(参见:**晶体**)

其他研究人员以各种半导体为研究对象。这些是固体中的一个特殊类别,当非常纯时成为绝缘体。适量地掺入杂质称为"掺杂"的步骤,这些固体便导电,并且对光敏感。半导体的生产技术需要发展先进的纯化、掺杂及结晶生长等技术。(参见:**半导体**)

溶液 溶液可以是气体、液体或固体。在真溶液中,各组分不能用机械方法将它们彼此分离开来。许多化学反应在液体溶液中发生。物理化学家可研究这些反应,或者他们可研究溶液的性质如蒸气压、溶解热和渗透压。(见:**溶液**)

溶液理论已应用于工业蒸馏过程中。新近它已用于从海水中除去盐分。

电化学 电化学涉及电与化学变化之间的关系。它涉及电子的化学效应(如在电解中),及通过化学反应产生电(如在电池中)。电化学电池可用于生产物质、电或二者都产生。在此可举两个例子:电解水产生氢和氧,其逆过程是氢燃料电池的发电。

电化学的反应速率是摆在电化学家面前的一个特殊问题。例如电解水时,尽管两个电极都未消耗,但用铂电极较之用铅电极时,氢的产生要快10亿倍。电化学家相信这种效果是由于不同金属产生不同强度的电场所致。这些电场影响反应速率,并且在所有电化学现象中,它们是起主要作用的因素。

电解应用于精炼金属和电镀中。应用电化学方面的近期成就包括高压锂电池、电化学机械加工和用固体电解质的燃料电池。(参见:**电化学**)

胶体化学 胶体是溶解或分散在另一介质(固体、液体或气体)中的亚微观粒子的体系。胶体的实例如血液、烟雾、涂料。胶体化学涉及这些体系的各种性质。有生命的物质由许多胶态物质所组成,并依赖胶态过程得以生存。许多食品和工业产品具有胶态特性。

化学家用一些方法,如电泳、扩散以及可见光和X射线的散射来研究胶体粒子的大小和构型。新近在胶态体系上进行的生物和工业的科学研究已经提供了有关染料、洗涤剂、聚合物、蛋白质及其他物质的大量知识。(参见:**胶体**)

光化学 光化学涉及辐射能对各种化学反应的作用,以及引起这些作用的机理。例如,通常只能在高温下发生的反应,当曝露这个反应混合物于紫外光辐射下,在室温下即可进行反应。反应的速率可简单地通过改变辐射的强度来控制。最通常的辐射光源为高压汞灯。也可以使用X射线和γ射线。红外辐射和微波不能产生光化学作用。

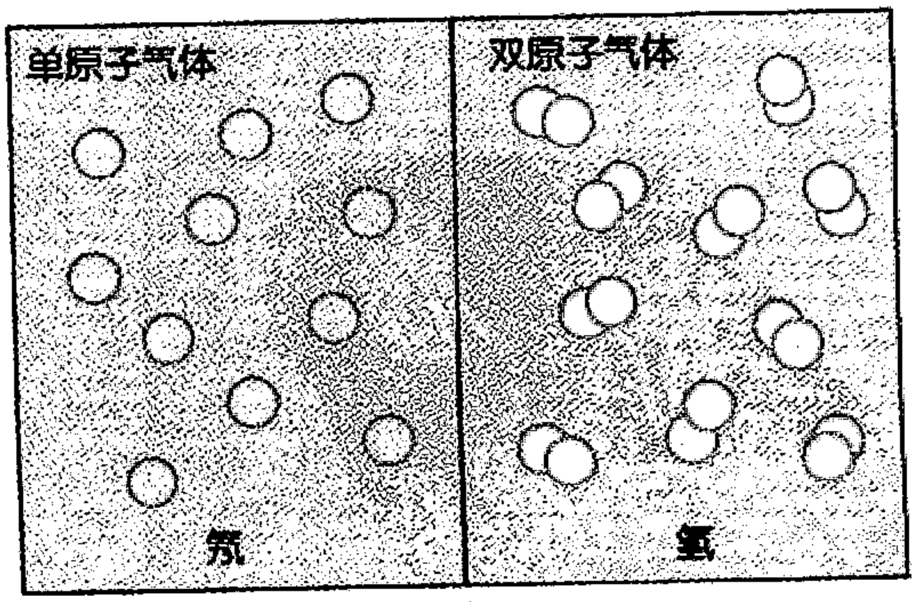
光合作用是地球上最重要的光化学过程之一。只有在含叶绿素的植物中才能发生光合作用。在这个反应中,二氧化碳和水结合,生成葡萄糖,并放出氧。在光化学反应中,光源放出称为光子的能包(见:**光**)。这些光子为反应物分子所吸收。光子的被吸收可激发分子到这样的程度,使分子或者分解(在所谓光解过程中)、离解,与其他分子相反应,或者释放出热。所激发的分子的数目恰恰等于被吸收的光子的数目。激光,由于它在很特定的波长下有很强的发射,所以现在被用来产生那些不能用任何其他方法来经济地生产的化合物。(见:**激光和微波激射器**)

统计热力学 热力学为化学家创造了条件,使他们有能力仅仅从热化学数据便可以计算任一化学反应在未达到平衡之前将进行到什么程度。可是理论化学家很想不要热化学数据而只因孤立的各分子的量子力学描述,便可做出这种计算;而热力学是基于物质的整体性质,并反映极大量分子的平均性质。

另一方面,量子力学所提供的只是有关单个分子的量子能态的知识,它不能用于计算分子体系的最可能的状态。统计热力学,又叫做统计力学或分子热力学,它试图在热力学和量子力学之间提供一个连接环。

在量子力学未出现之前,麦克斯韦-玻耳兹曼分配定律已为这个学科奠定了统计学的基础。基于这样的假设:即由于碰撞,所有气体分子都具有不同的速度,分配定律能够用来计算一个分子最可能的速度,计算碰撞之间的平均距离以及碰撞的频率。通过将量子统计学应用到光谱数据,科学家现在能够计算物质的整体性质。

统计力学这一领域提供了对诸如温度、蒸气压和扩散等现象的更深入的了解。它还提供了一个方法来计算气体的热性质,确定气体是单原子的(由仅含一个原子的分子所组成)或是双原子的(由含两个原子的分子所组成),而且从更易测定的一些量计算出热力学函数。现在已有许多简单化合物的自由能和熵的数值表。物理化学家只需借助一个体系的一个实验数值便能用这些表来计算一个反应在任何温度下的平衡常数。



作为单原子气体的氖分子只含一个原子。双原子气体的分子如氢含有两个原子。

历史

1881 年，当惟一专用于发表物理化学文献的《物理化学杂志》出版第一期时，物理化学开始成为一门独立的学科。这个刊物搜集汇编了已经由一些最著名的从事于物理化学领域的研究者，包括物理学家麦克斯韦、玻耳兹曼和吉布斯在更早些时候作出的成果。

麦克斯韦、玻耳兹曼和吉布斯在 19 世纪中叶和 19 世纪末为统计热力学奠定了基础。1860 年麦克斯韦应用统计学于气体动力学模型，推导出热是分子运动的一种形式（见：**麦克斯韦**）。1871 年玻耳兹曼详尽阐述了熵的深远的统计力学解释。1878 年吉布斯将热力学与化学联系起来，逐渐形成自由能与化学势的概念。他建立了表面张力的化学理论和物质各相之间的平衡理论。吉布斯还能够阐明催化剂不会改变包括在反应中的各物质的能量关系。他的研究成果确立了物理化学的基本理论。

1883 年，在发现电子之前，瑞典物理学家和化学家阿伦尼乌斯为了阐明电解，他假设溶液中存在着离子。1887 年他发展了活化能的概念，说明反应在较高温度下为何发生得更迅速。在同一世纪，荷兰物理学家范德瓦尔斯制定了描述物质的气态和液态的公式。他的研究成果导致了氢和氦的液化，并且终于使低温学领域得以建立。（见：**低温学**）

20 世纪　近代物理化学随着量子论的引入开始于 20 世纪初期。量子力学提供了更精确的原子和分子结构和能态的模型，并说明了辐射的影响和各种电磁波谱的性质。在 20 世纪初爱因斯坦应用量子力学和统计力学于固体，并假设了光化学的基本定律（见：**爱因斯坦**）。1912 年德国物理学家劳厄，发现 X 射线能被晶体衍射。他的研究成果标志着 X 射线和中子晶体学的起始。20 世纪 30 年代美国化学家鲍林应用量子力学研究分子结构，特别是与化学键有关的分子结构。（见：**鲍林**）

当前的发展　近年来对具有专门性能的新材料的需求日益增长。在各种工业领域中进行研究工作的物理学家为提供这些新材料正在起着重要作用。

在计算机领域内，物理化学原理的应用导致了更快速和更有效的计算机出现。计算机使用铭刻在硅芯片表面上的集成线路。硅本身在其掺杂之前，需要超提纯，然后需要准确的结晶取向，在做成计算机芯片之前，还需要对它进行表面化学的控制。

制造硅原材料，使之掺杂，对制备用来制造芯片成品的氧化物层的厚度加以控制，这些工作都需要固态扩散和反应动力学的知识。在制造计算机储存器时，X 射线晶体学用来确定粉末是否具有所需要的磁性和电性。

物理化学在发展液晶（用于手表和电视等物品的显像管）中起了关键作用。物理化学的研究结果也已被用来制作高速墨水和计算机打印输出用的激光器。

光谱学已显示出它是作为研究物质性质用的一种主要工具。光谱的特征惟一地取决于分子的性质。物理化学家利用微波、红外及可见光谱来研究分子的结构和特性。核磁共振谱可提供有关原子核化学环境的信息，它是用于鉴定药物的磁共振现象的基础。（参见：**光谱和分光镜**）

在几乎世界范围内短缺能源的时代，人们已经试图发展各种电解电池，这种电池用阳光而不用电力产生氢燃料。物理化学在高温超导性研究中继续做出不止一次的突破，这些突破使在液氮温度或高于此温度情况下不存在电阻。新发现的一些陶瓷超导体由一氧化铜与周期表中 IIA 和 IIIB族的一些元素一起制成。（见：**周期表**）

当研究工作者对各式各样的分子知道得更多，他们就可以创造出新型激光器。物理化学家终于能研究出一些计算方法使他们甚至可以在化合物未被创造出来以前便能预测这些化合物的结构和性质。

撰文：Herbert N. Hersh

电化学　ELECTROCHEMISTRY

利用电流产生化学变化，大大有助于科学和工业技术。这是又快又便宜地获得一些不含杂质的金属的惟一方法。许多气体、盐和其他产品也用这方法制得。在电解质溶液中通以电流，能给物体镀上金属膜，达到显微精确度。电化学方法也用于化学分析和由电池或蓄电池供应电流。

研究这些过程的科学称为电化学。它的主要应用是使复杂化合物分解为更简单的化合物或将化合物分解为元素。这过程称电解（electrolysis），英文名称来自希腊词，意思为“电引起的宽松”。

电化学这个词隐含着电流的应用。起变化的物质称电解质。电流经过电极通入电解质溶液，电极的英文名为 electrode，“ode”意为“途径”。电极是根据旧理论命名的，电流是从“电流质”过多处（正极）到不足处（负极）。这个电流流入溶液的一极称阳极（anode），“an”意思为“过多”，流出溶液的一极称阴极（cathode），“cath”源自“kata”，意思为不足。

溶液的电离

有一些电化学过程分离气态或熔融的电解质，但大部分电解质要先溶于水。水对酸、碱、盐都是中性的，而且溶解过程中通常不大量发热，也无其他的剧烈作用。

电解质的溶解通过分离——即电解质的分子分离为带电的粒子，即离子，一种离子带负电荷，称负离子（anion），因为它在溶液中受阳极（anode）上的正电荷的吸引。带正电荷的粒子称正离子（cation）。它通过溶液向阴极（cathode）运动。

水因为分子是极性的，具有溶剂性质。在本卷的“溶液”条中对水分子有带正、负电的两端已作了解释。这些带电的端和其他极化物质相作用，并使它们溶解。在本卷“化学”条中已说明，这些极化物质中的正离子与水结合形成水合正离子（H_3O^+）。例如硫酸如下分离：

$$H_2SO_4 + 2H_2O \longrightarrow 2H_3O^+ + SO_4^{2-}$$

硫酸　　水　　水合离子　硫酸根离子

水合离子的准确写法为 $H^+ H_2O$。H^+ 常作为整个水合离子的符号。

电子的给予体和受体

在分解过程中，一个或更多个电子从物质的一个原子（这原子成为正离子）转移到另一物质的一个或更多个原子（使它或它们成为负离子）。这个转移形成电价键。（见：**化学**）

产生离子的物质，按它们在电子转移中的表现，可分属一类或两类。正离子称电子给予体，因为它们在电化学过程中释放出一个或更多个电子。负离子称电子受体，因为它们得到一个或更多个电子，从而带上了负电荷。

给予体-受体分类是金属和非金属元素的重要区别。这个区别显示在当代的周期表中（见：**周期表**）。金属元素（分布在表的左面）在它们的最外层轨道上有1、2或3个电子。这些电子容易失去，以满足全部原子的最外层轨道都有8个电子。所以金属元素是电子给予体并形成正离子。

非金属元素（居周期表的右面）在最外层轨道有4到8个电子。它们提供负离子，它们从金属元素那里得到一个或更多个电子，以充满最外层轨道。这使它们带上负电荷。

酸、碱和盐

通常，酸是氢的化合物，其中氢能够被金属元素所取代。酸化合物的其余部分，带负电荷，称酸根。H_2SO_4 是硫酸。它的根是 SO_4，可构成硫酸盐。HNO_3 是硝酸。它的根是 NO_3，构成硝酸盐。HCl 是盐酸。Cl（氯）像这个酸的根那样起作用，虽然它仅仅是一个原子。

碱由一个或多个带一个负电荷的氢氧根（OH）和构成正离子的一个或多个元素组成。由碱金属和氢氧根组成的碱称强碱。在碱分解后，氢氧根离子（OH^-）可和氢离子（H^+）结合，形成水。当酸中的氢被金属元素取代后，形成的化合物就是盐。这类化合物不含氢氧根。（参见：**酸和碱**）

电取代或电化序

由于元素的结构和性质不一样，某些元素要比其他元素更快地参与结合。更活泼或更强的元素比其他元素化合得更快。它们也可以取代化合物中较不活泼或较弱的一部分。下面的电化序表列上了21种金属和氢，因为在电解过程中，氢像金属那样起作用。表中的元素按它们的取代实力排序，从最强的锂到最弱的金。

1. 锂	2. 钾	3. 钙	4. 钠	5. 镁
6. 铝	7. 锰	8. 锌	9. 铬	10. 铁
11. 镉	12. 钴	13. 镍	14. 锡	15. 铅
16. 氢	17. 铋	18. 铜	19. 汞	20. 银
21. 铂	22. 金			

在氢的前面的元素化学上比氢之后的更活泼，而且在自然界中以化合物形式出现，很少以游离形式存在。在氢以后的元素常能找到游离矿。

表中元素的位置越高，它在溶液中和其他元素结合得越强。因此，要把它从溶液中分离出来沉淀在电极上，就需要更高的电压。因为氢在这序列中位置相对低一些，在酸中它易于被位置比它高的金属元素所取代，这样的取代是在酸的作用下制成盐。

电极的作用

电极将溶液中的离子吸引到自己身上，使电化学反应能连续进行。阴极和阳极分别保持负的和正的电荷，不论它们收集了多少正离子和负电子。这由于电极相对于电解质溶液的化学性质，也由于自由电荷（正离子和电子）经过外电路中和了两电极上符号相反的电荷。两电极上的电荷既不堆积，也不中和。

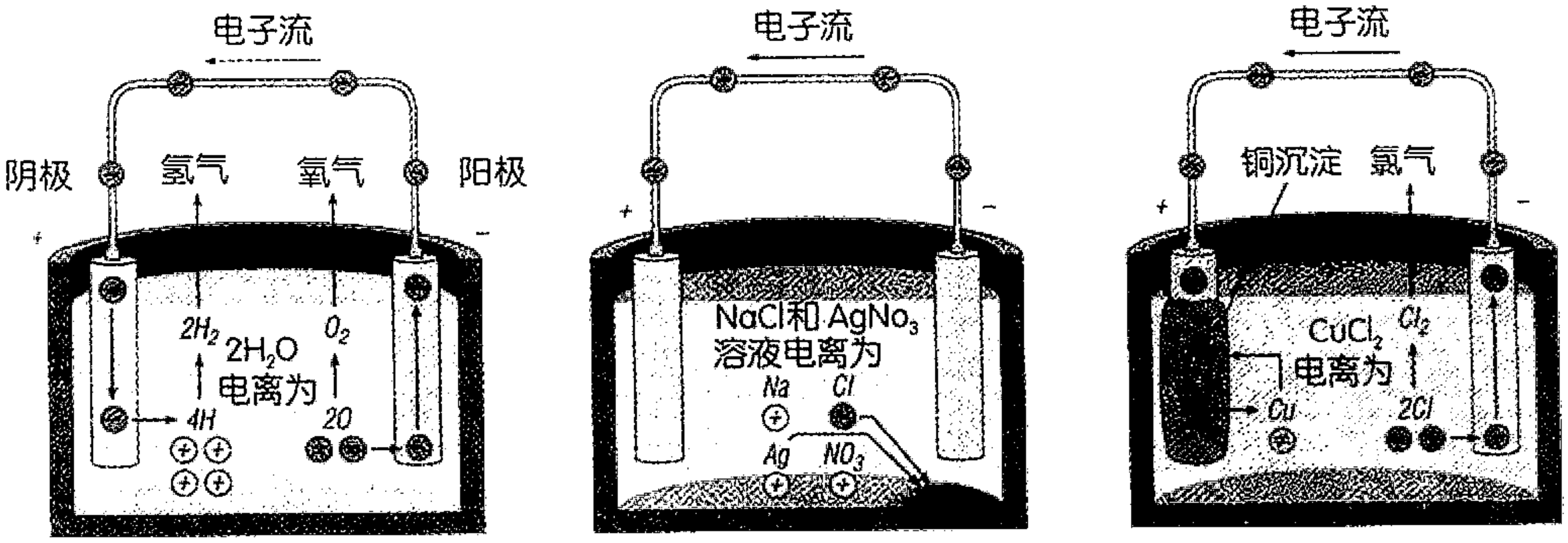
当负离子到达阳极，转移就开始了。阳极取走了负离子所带的电子。电子汇集时，它们互相排斥并强使它们中的一些成员进入外电路。同时，阴极从溶液中的正离子和从外电路吸引电子。电子中和了正离子的电荷，使它们成为中性原子，它们可以结合为分子，或参与其他反应。

一个电化学反应可以产生几种气体，例如将水电解为氢气和氧气：

$$2H_2O \longrightarrow 4H^+ + 2O \longrightarrow 2H_2 + O_2$$

水分子通以电流　离解　　形成气体

电化学的典型结果



电流将水分解为氢气和氧气（左图）。溶液中的离子可以互相强烈吸引，形成不溶解的物质（中图）。氯化银（AgCl）由氯化钠（NaCl）和硝酸银（$AgNO_3$）形成。二氯化铜（$CuCl_2$）分解为金属铜（Cu）和氯气（Cl_2）（右图）。

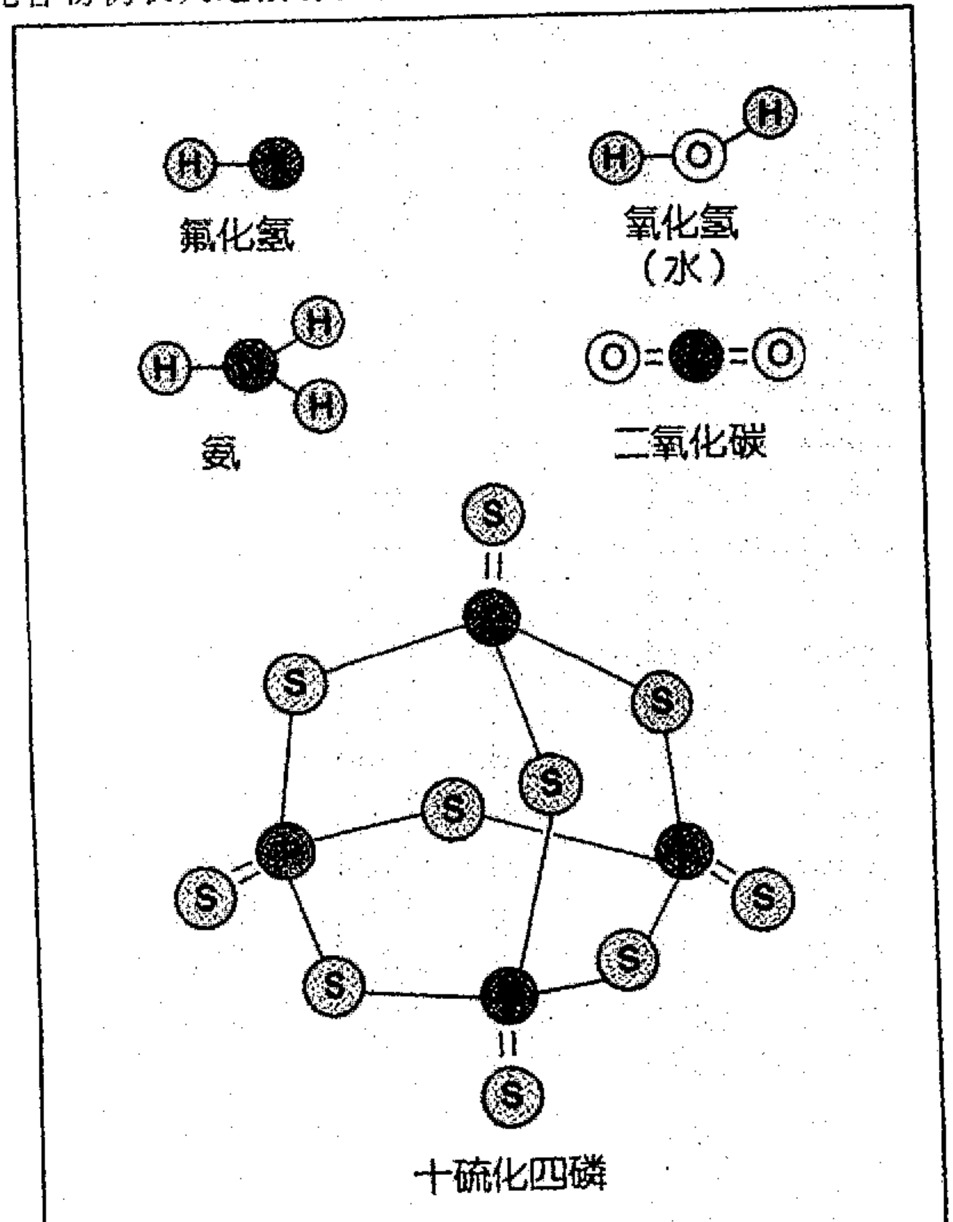
溶液中的离子可能强烈地互相吸引，足以形成不溶解的化合物。这些分子从溶液中析出（沉淀）。例如当电流通过硝酸银和氯化钠的混合溶液时，银（正离子）和氯（负离子）结合形成氯化银沉淀。钠离子和硝酸根离子仍留在水内，犹如硝酸钠溶液。

许多金属将在合适的阴极上沉淀。上面图中氯化铜中的铜就这样沉淀了。氯离子失去它们的电荷，并形成氯气的分子。

无机化学 INORGANIC CHEMISTRY

19 世纪初期形成了化合物本质的现代概念，即：一种单一物质是由两个或两个以上元素按固定比例组成。以后经过对天然物质的分离和分析，已知化合物的数量日益增多。为了将这些化合物分类，他们将来自有生命生物体（如动植物）的化合物，确定为有机化合物，其余的为无机化合物。这种分类一时被认为非常合乎逻辑，因为没有人能把任何一种无机化合物变成有机化合物。许多科学家认为有机化合物只能由有生命物质的一些未知的生命力形成。

1828 年德国化学家 F. 维勒加热无机化合物氰酸铵制得有机化合物尿素。由此证明了不需要生命力，但这种概念仍在多年内影响化学家的思维。在放弃这个概念以后，化合物仍长久地按有机和无机分类。除很少含碳无机化合物外，所有的有机化合物都含碳。因此有机化合物的定义是：碳的化合物中除一氧化碳、二氧化碳、碳酸盐、氰化物、氰酸盐、硫氰酸盐和某些碳化物外，其余都是有机化合物。（参见：**化学；有机化学**）



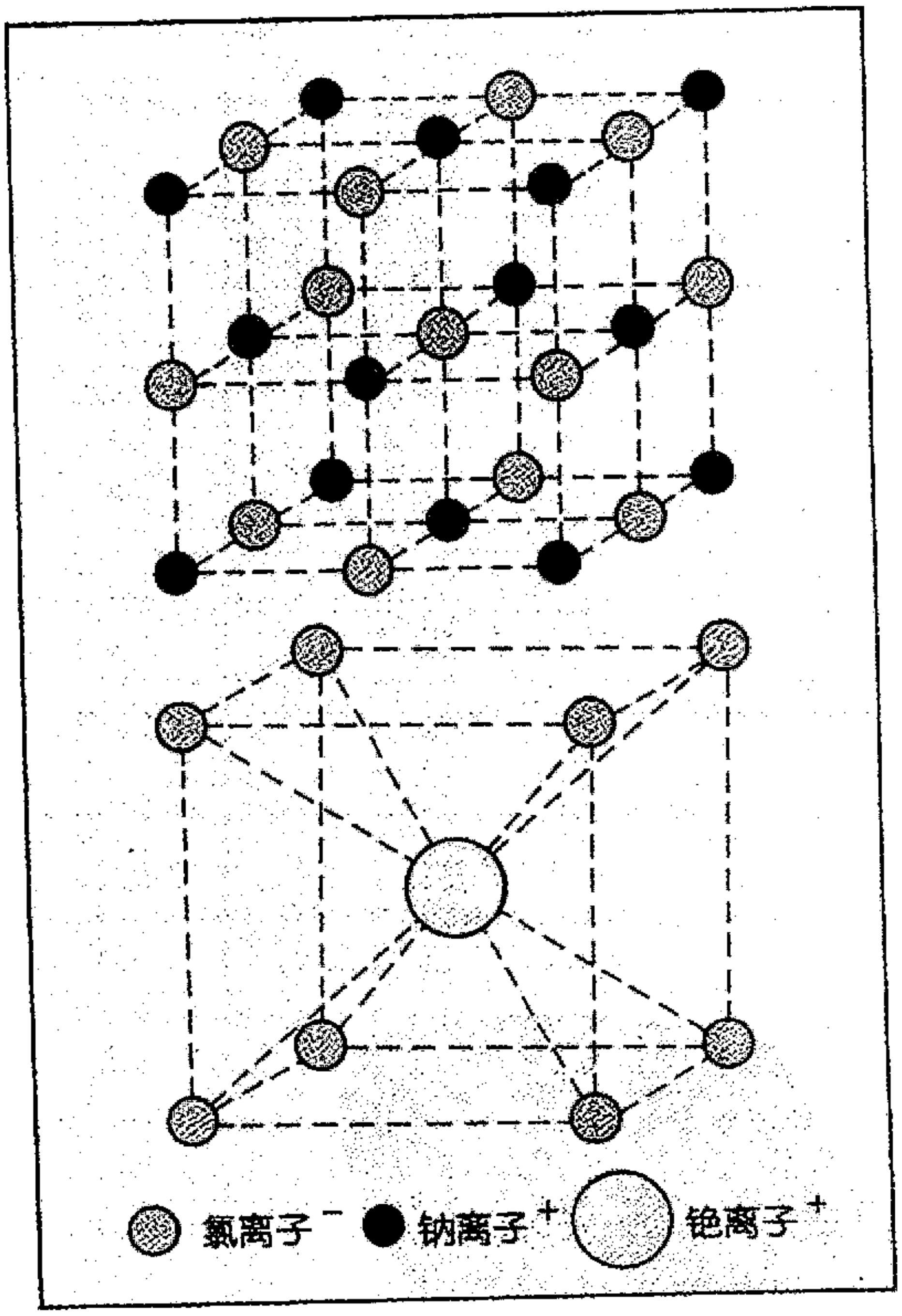
如图中 HF、H_2O、NH_3、CO_2 和 P_4S_{10} 等化学分子式中，单线和双线代表单和双共价键

无机化合物的定义一经确定，无机化学就是研究这些化合物和组成这些化合物的元素，研究三类不同性质的问题——描述、理论和工艺。

描述 物质的描述包括物理和化学性质的信息。重要的物理性质包括：常态（室温和大气压）下物质存在的状态，以及条件改变时状态的改变。物质的化学性质包括：由于自身或物理条件改变或与另一种物质反应，一种物质转变成一种或几种其他物质的能力。

理论 理论无机化学的研究对象是发现普遍定律和原理，它们能阐明物质性质和反应并能预言新化合物或化学过程。其中最有用的是周期律，由俄国化学家 D. 门捷列夫于 1869 年提出。

工艺 无机化学工艺学就是将理论和经验用于实用化合物的工业生产，它与经济和工程密切相关。



电价键由虚线表示，带正电荷的钠（或铯）离子在带负电荷的氯离子基质中；反过来可说是负离子处于正离子基质中。

无机化合物

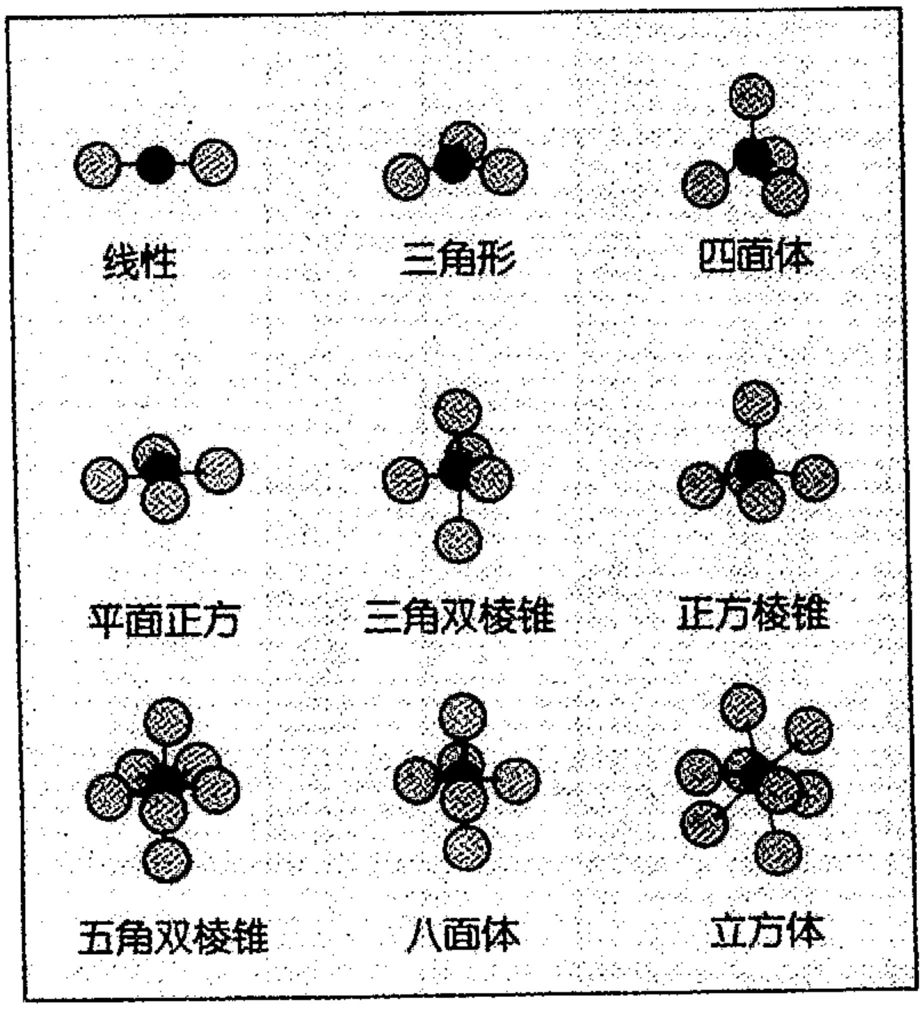
在已知 100 多个化学元素中，除氦和氖两个以外，所有

的原子都能与其他元素的原子形成化合物。在化合物中主要有两种力或化学键使原子结合在一起，它们是共价键和电价键(离子键)。

共价键 当两个原子吸引(或共享)同一对电子即形成共价键。一个共价键只能影响两个原子，但多数原子能同时形成一个以上的共价键。氟化氢化合物包含有一个氢原子与一个氟原子由一个共价键结合的分子。然而，氧或硫原子在它们的许多化合物中能形成两个共价键，氮或磷原子形成 3 个或 5 个。两个原子能共享两对或 3 对电子形成双或 3 共价键。

电价键 如果原子间吸引电子的力相差太大，就不能形成共价键。在此情况下，具有强吸引力的原子从另一原子将一个或更多电子全部吸引过去，获得电子的原子变成有负电荷的粒子，失去电子的原子变成正电荷粒子。带电荷的粒子叫离子，相反电荷粒子间的电吸引力叫电价键。这种键与共价键不同，带正电荷的离子能吸引邻近的每一个负离子，反之也如此。在共价键化合物中每个只能吸引附近两个原子，而在离子键化合物中，具有相反电荷的离子互相紧密挤在一起，形成每一种离子由最大数目的另一种离子包围的布局。正负离子的任何一种结合的可能性只能受它们的相对大小和所带电荷的限制。

例如，氯化钠(食盐)含有正钠离子和负氯离子，它们含有电荷数相同但相反的电荷，也就是说两种电荷的离子数目相等。由于它们的大小近似相同，当堆积在一起时每个离子是由 6 个其他种离子围绕。氯化铯化合物也在两种相同数目的离子，但铯离子比氯离子较大，当它们堆积在一起时，每个离子由 8 个其他种离子围绕。



在以上多原子离子中，中心(深色)原子的配位数等于按规定几何外形围绕的浅色原子数。

配位数 含有一个以上原子的离子叫多原子离子。在许多这种离子(或许多中性分子)中，一个原子与围绕它的几个其他原子以共价键结合。围绕原子的数目常称为中心原子的配位数。在离子堆积的化合物中也如此，例如在氯化钠中钠离子和氯离子的配位数均为 6。

制备化合物

在制备一个新化合物时，化学家们首先要选择在适当条件下似乎可能化合的物质，然后决定反应的操作程序。通常一个或更多的起始材料是固体，由于只有化合物表面的原子能互相接触，反应通常非常缓慢。加速化学反应的最简便方法是将所有起始材料都溶于一个液体溶剂中。在很长一段时间内，水是惟一常用的溶剂，它能溶解大量的无机化合物，而且价格便宜、无毒。

然而水并不是经常合适的溶剂，许多化合物不能溶于水，有时水还会与起始材料或产品发生作用。因此，化学家们研究可用做溶剂的其他物质，发现了几种合适的溶剂。例如在常温常压下为气体的氨和二氧化硫，易于液化，虽然价格较水贵，并且有毒，但能安全操作和回收再用。它们能溶解许多不溶于水的化合物，化学家们发现许多有机或无机化合物只能在这些溶剂中反应生成。

重要的无机化合物

在商业上将化学工业和其他活动中广泛应用的一些无机化合物称做“重”化学品，因为它们的年产量特别大。

硫酸 居重化学品的首位，每年产量几百万吨，用于制造肥料、洗涤剂、染料、纤维和石油制品。

制造硫酸的主要方法是接触法。首先将硫在空气中燃烧，与空气中的氧化合生成二氧化硫和空气的混合气体。将这个混合气体与作为催化剂的固体物质接触，以加速二氧化硫与另加的氧反应生成三氧化硫。最后三氧化硫与水化合生成硫酸。这个方法叫接触法，其实气体与催化剂(它不参与反应)的接触只发生在必要的步骤。全部过程用化学符号表示如下：

$$S + O_2 \longrightarrow SO_2$$
硫　氧　二氧化硫

$$2SO_2 + O_2 \longrightarrow 2SO_3$$
二氧化硫　氧　三氧化硫

$$SO_3 + H_2O \longrightarrow H_2SO_4$$
三氧化硫　水　硫酸

许多金属矿是硫化合物，从这些矿中提炼纯金属必须先去除硫。通常是将矿物在空气中燃烧，矿物中的硫与空气中的氧化合生成二氧化硫。在现代矿物精炼厂通常将二氧化硫气体收集起来用接触法制备硫酸。二氧化硫不容许排入空气，因为它是危险的污染物。

氯化钠 是整个无机重化学品的基础。氯化钠的主要来源是石盐(或岩盐)矿，在美国东北部和别处已发现这些矿的巨大矿藏。

有几种工业方法将氯化钠变成氢氧化钠(又称苛性苏打)、碳酸钠(苏打灰)、氯化钙、氯、钠、硫酸钠、硫酸氢钠、盐酸、氯化钠和次氯酸钠。氯化钠中不含氢，在制备氢氧化钠和氯时，将直流电通过盐水(氯化钠的水溶液)就能制备和

收集大量的氢。这种方法是电化学的最重要的工业应用。

如果将氯化钠在 800°C 熔融，电流将使一个电极释出氯气，在另一个电极生成金属钠。（见：**电化学**）

氮化合物 氨和硝酸也是重化学品，它们都由氮气制备，而氮气可从大气中将它与氧和其他气体分离得到。氨由氮与氢化合生成，但这种反应只能在 1 000 个大气压、700°C 左右，在催化剂（铁）存在下迅速发生。

$$N_2 + 3H_2 \longrightarrow 2NH_3$$

氮　　氢　　氨

在将以上方法工业化以前，还需解决许多困难的理论和工艺问题。两个德国化学家开展了这项研究和发展计划，因此获得诺贝尔奖。现在生产的大部分氨都用做肥料，单独使用或与其他化合物混合使用。大量的氨也用于化学工业。

氨的一个主要工业用途是制造硝酸。它与制造硫酸的接触法相似，也包括一些独特的反应。氨在空气中不易燃烧，如果将空气和氨的混合物通过一个用铂丝制成的红热筛网，氨就能与空气中的氧化合生成氧化氮气体。铂是催化剂。氧化氮又与空气中的氧化合生成二氧化氮。二氧化氮与水化合最终生成硝酸。在这个步骤中还生成另外一些氧化氮，由于空气的存在，它们很快转变成二氧化氮。几乎所有硝酸产品都用于制造其他化学药品。它与氨化合生成硝酸铵，可用作炸药和肥料。硝酸与有机化合物甘油反应生成甘油三硝酸酯（俗称硝化甘油），与甲苯反应生成三硝基甲苯（TNT）。这些化合物都是高效炸药。

$$4NH_3 + 5O_2 \longrightarrow 4NO + 6H_2O$$

氨　　氧　　氧化氮　　水

$$2NO + O_2 \longrightarrow 2NO_2$$

氧化氮　　氧　　二氧化氮

$$3NO_2 + H_2O \longrightarrow 2HNO_3 + NO$$

二氧化氮　　水　　硝酸　　氧化氮

溶液 SOLUTION

真溶液是两种或多种不同物质的混合物，它们不能用沉降、过滤或其他机械手段分离。例如水-糖溶液，糖不会在玻璃杯底部沉降，也不能用过滤方法去除。糖结晶在进入溶液时分裂成称为分子的微小粒子（见：**化学**）。这些糖分子均匀地分布在水分子中，结果形成均匀的液体。

溶液与胶体不同，当粒子溶解生成溶液时，它们分裂成单个分子或离子，而胶体粒子含有分子簇。常见的胶体例子是雾、烟、奶和明胶。（见：**胶体**）

在溶液中，溶剂（经常为液体）是能溶解其他物质的物质（见：**溶剂**）。被溶解的物质叫溶质，它可能是固体（如糖溶于水中）、液体（如酒精和水混合）或气体。两种固体的混合物有时叫固体溶液，如两种金属在合金中的结合。

有些物质在形成溶液时分裂成比分子还细小的粒子，例如在普通食盐和水的溶液中，许多盐分子分成叫做离子（一种带有正或负电荷的原子或原子基团）的碎片。形成离子化溶液的主要物质是酸、碱和盐。离子化溶液导电，化学性质非常活泼。（参见：**酸和碱；电化学**）

溶剂能溶解一种物质的数量以物质的溶解度计量。当溶剂加热时，固体物质的溶解度几乎经常增加。例如，一定量沸水溶解的糖量要比冰冷的水多一倍有余。另外，气体的溶解度随溶剂温度的升高而减少。固体或液体进入溶液后，能使溶剂的沸点升高，凝固点下降。

当一种液体在一定温度下已溶解了它能溶解的一种物质的全部数量，这种溶液叫饱和溶液。通常，当一种固体的热饱和溶液冷却时，一些已溶解的物质会从溶液中析出，重新固化，在容器边形成结晶，或沉落到底部。有时液体冷却后，多余的固体仍留在溶液中形成过饱和溶液。摇动或搅动液体，或投入一小片已溶解的材料，通常能使多余溶质突然结晶。溶液的强度或浓度通常用百分比表示。5%的盐溶液表示溶液中含有 5 份重量的盐和 95 份重量的水。

无人精确知道溶剂是如何与物质相互作用的。现代溶液理论认为：水分子以微小磁体形式存在，每个带有一个正极和一个负极，叫做水的偶极子（见：**磁体和磁学**）。由于酒精也是极性化合物，水和酒精能很快混合。每个水偶极子将一个正极紧靠酒精磁体的负极，反之也如此。非极性液体像汽油、油和脂以及苯不能与水完全混合。这些液体没有正电荷或负电荷去吸引水的偶极子，它们会形成分离层。如果这种液体比水轻，就会升到上层；如果比水重，就会沉到下层。

当水溶解极性化合物的晶体时，水的偶极子将晶体表面的离子拽出并包围它们。带有异号电荷的偶极子的末端指向带电原子，像一个盖子那样隔离开来。易溶于水的晶体通常不易溶于苯和氯仿这样的非极性溶剂。相反，不能分离成离子的化合物常常不能溶于水，但能溶于丙酮、苯和乙醚这样的有机溶剂。

溶液在生命过程中起到主要作用。例如空气是氧、氮和少量其他气体的溶液。由肺吸入的氧气进入血的溶液，与红血球中的血红蛋白化合，然后释放给身体组织。

溶剂 SOLVENT

能使另一种物质分裂或溶解的物质。溶剂有许多工业和商业用途，在任何家庭厨房中都能找到溶剂的最熟悉用途，人们无论冲一杯速溶咖啡或冰茶，都使用了所有溶剂中最普通的一种——水。

溶于溶剂的物质，如咖啡结晶叫溶质。最终的混合物是所有化学粒子互相均匀混合的溶液。粒子在过一段时间离开溶液而沉降的叫悬浮。大部分溶液和大部分溶剂是液体。溶质通常是固体，一些气体或液体也可作溶质。通常溶剂是溶液的最大组分，但也有例外，例如在浓硫酸中 4% 的水溶解 96% 的硫酸。（参见：**溶液**）

溶剂常用于化学反应中，因为溶解的化学品化合的趋势较快。例如，两种干的结晶化合物几乎不发生反应，如果这些化合物在溶剂中混合，它们的分子在溶剂中分离，互相混合，生成一种新的物质。

许多工业过程依靠蒸发、再使用和萃取等各种溶剂作多种应用。蒸发溶剂用于油漆、清漆和几乎所有塑料型涂料，使它们在使用前保持液态。在许多现代涂料中，水是最原始的溶剂，如果溢出很易清除。用油或合成黏合剂的涂

料不溶于水，常用从石油蒸馏得到的溶剂，如石脑油或苯，或用像松节油那样的天然溶剂。

一旦溶剂蒸发，液体溶液就变成固体，形成坚韧而耐用的涂层。蒸发溶剂也用于合成材料如塑料的生产中。配料首先溶于溶液，生成叫聚合物的长链分子，当溶剂蒸发，就留下一种硬质的材料。

纺织工业使用可重复使用的溶剂制造天然和合成纤维。在人造纤维生产中，一种叫纤维素的淀粉植物纤维与溶剂混合生成一种新的黏胶物质，它们通过喷嘴在酸浴中压出，形成细缕，一旦溶剂在酸和空气中游离，细缕便形成硬的丝束，溶剂又可再使用。

萃取溶剂能将某些溶质从其他物质中分离出来。干洗的基础就是用溶剂（氯化烃）萃取污垢和油点，这种溶剂只溶解污垢不溶解织物。从葵瓜子和大豆植物中萃取食用油大部分也用这个方法。

酸和碱 ACIDS AND BASES

酸和碱两类化合物有许多成员，它们互相反应生成新的产物。酸、碱及它们的反应产物对许多生命过程极端重要，对工业也很有价值。

酸是在水中离解（分裂）生成氢离子的一类含氢物质。酸也可定义为氢能被金属取代的一类化合物。化合物的另一部分叫酸根。例如，在硫酸（H_2SO_4）中 1 个硫原子和 4 个氧原子形成的酸根与 2 个氢原子相连接。

金属与酸反应的典型例子是在硫酸溶液中加入锌，锌与酸根结合生成硫酸锌，释出氢气：

$$H_2SO_4 + Zn \longrightarrow ZnSO_4 + H_2$$

最强的酸是无机酸，包括硫酸、硝酸和盐酸。许多较弱的有机酸对生命更重要，包括乙酸（存在于醋中）、柠檬酸（在柠檬中）、乳酸（在酸奶中）和氨基酸（在蛋白质中）。

碱是含氢氧离子（OH^-）或羟基（OH）的一种物质，在水中离解生成氢氧离子（OH^-）。碱溶液具有不好闻的特有气味。金属的氢氧化合物都是含有羟基的金属化合物，它们都是碱。锂、钠、钾、铷和铯等金属的氢氧化合物称强碱。铍、镁、钙、锶和钡等的氧化物称碱土。带碱性的溶液又称碱溶液。

以下描述能说明为什么酸和碱能如此迅速地互相反应。酸含氢可与金属交换，而碱含金属可与氢交换，两者反应时就发生交换。这种反应或交换有时很猛烈。酸和碱反应生成的化合物叫盐。氢氧化钠与硫酸反应生成一种叫硫酸钠（Na_2SO_4）的盐和水：

$$2NaOH + H_2SO_4 \longrightarrow Na_2SO_4 + 2H_2O$$

另一种典型的酸-碱反应是氢氧化钙与磷酸之间的反应，生成磷酸钙和水：

$$3Ca(OH)_2 + 2H_3PO_4 \longrightarrow Ca_3(PO_4)_2 + 6H_2O$$

酸和碱能自由地在水溶液中反应。就是说，当一个酸离解时，生成一个酸根和一个氢离子。事实上，氢离子（H^+）在水溶液中的浓度并不大，它与水分子形成水合氢离子（H_3O^+）。可是为了简化反应式，习惯上用 H^+ 为氢离子的符号。当一个碱离解时，生成带有一个负电荷的氢氧离子（OH^-）和带有一个正电荷的金属离子。氢离子和氢氧离子结合生成一分子水。然后负酸根与正金属离子生成盐。

酸和碱能使许多有机物质改变颜色。例如，茶中加入柠檬汁能使茶的颜色变浅，这是因为柠檬汁中的酸使茶中的有色物质从深棕色变成浅棕色。如果在茶中加入一种碱性物质，例如小苏打（$NaHCO_3$），以上反应又能倒转，使茶恢复原来颜色。这种能随加入的酸或碱而改变颜色的物质叫指示剂。

石蕊试纸是常用的指示剂。它在酸性溶液中呈现红色，在碱性溶液中呈现蓝色。中性溶液使石蕊试纸的颜色在红蓝之间，这种溶液含有等量的氢离子和氢氧离子。因此，含过量氢离子的溶液叫酸性溶液，含过量氢氧离子的溶液叫碱性溶液。

纯水是中性溶液。它只有轻微的电离，释放出等量的氢和氢氧离子，测量这些离子的浓度为 1×10^{-7}。换句话说，纯水中氢离子的浓度为 1×10^{-7}，习惯说水的 pH 为 7。pH 是氢离子浓度倒数的对数。写成

$$pH = lg\frac{1}{[H^+]}$$

由于中性水的 pH 为 7，溶液的 pH 小于 7 的是酸，大于 7 的是碱。

离子 ION

见：化学；电化学；溶液

化学元素 CHEMICAL ELEMENTS

用一般化学方法不能再分解为更简单的某些实物。自然界存在 94 种元素，它们或者以游离状态存在，如氧；或者与其他元素化合，如水。另外有 20 种人工制造的元素。（参见：**原子粒子；化学**）

元素的命名

为了节省时间和空间，元素的名称常用某种符号，即一种化学速记来表示。按照惯例和可能，化学符号用化学元素外文名的第一个字母，例如氢（hydrogen）的符号为 H，氧（oxygen）为 O，铀（uranium）为 U。

由于字母表没有足够的字母来表示所有的元素，有些元素可能用同样字母开始，因此又使用两种其他方法：一种是在元素名字的第一个字母后另加一个字母，通常所加字母要求在说到该元素时比较显目，例如氦（helium）为 He，氯（chlorine）为 Cl，锎（californium）为 Cf。另一种是使用元素的拉丁名，例如铅的拉丁名字是 plumbum，化学符号为 Pb，银的化学符号 Ag 来自银的拉丁名 argentum。

元素符号无论用一个字母或两个字母，只能有一个大写字母。这个规则在书写化合物的分子式时很重要。从一个化合物的分子式可以知道在化合物中有哪些元素和每种原子有多少。例如一氧化碳的分子式为 CO，说明一个碳原子与一个氧原子化合。如果钴元素的符号 Co 写成 CO，分子式就错了。这种符号语言是 1811 年由瑞典化学家 J. J. 贝采利乌斯倡导的，现已被世界各国采纳。一些普通元素

的符号见下表。

化学元素的简单符号

从常用英文名制定的符号

名称	符号	名称	符号
铝 Aluminum	Al	镁 Magnesium	Mg
氩 Argon	Ar	锰 Manganese	Mn
铍 Beryllium	Be	氖 Neon	Ne
硼 Boron	B	氮 Nitrogen	N
钙 Calcium	Ca	磷 Phosphorus	P
碳 Carbon	C	铂 Platinum	Pt
氟 Fluorine	F	硅 Silicon	Si
氦 Helium	He	硫 Sulfur	S
锂 Lithium	Li		

从拉丁名制定的符号

常用名称	符号	拉丁名称
锑 Antimony	Sb	Stibium
铜 Copper	Cu	Cuprum
金 Gold	Au	Aurum
铁 Iron	Fe	Ferrum
铅 Lead	Pb	Plumbum
汞 Mercury	Hg	Hydrargyrum
钾 Potassium	K	Kalium
银 Silver	Ag	Argentum
钠 Sodium	Na	Natrium
锡 Tin	Sn	Stannum

原子的大小和质量

原子的大小约为用高倍光学显微镜才能看见的最小物体的$\frac{1}{1\,000}$，为了测量如此微小的物体，化学家们使用一种比厘米更方便的单位，常用的一种叫埃 Å（1Å＝0.00000001厘米）。氢原子是元素中最小的，直径约为 1 埃。重碱金属是元素中最大的，它们的直径约为 5Å。

原子的质量也非常小，一个氧原子重0.000000000000000000000027克，使用这样一个数字很不方便，因此化学家们以质量数为 12 的碳同位素为参照标准（任何元素的同位素的原子核中都含有相同数目的质子，但含有不同数目的中子。例如，碳的同位素在原子核中都含有 6 个质子，但碳-12有 6 个中子，碳-13有 7 个中子，碳-14有 8 个中子）。将质量数为 12 的碳同位素质量的$\frac{1}{12}$称为相对原子量单位（awu），有时也称原子质量单位（amu）。1961 年以前通常以氧-16为参照标准。以整数表示，在原子量单位中氢为 1，碳为 12，氧为 16。精确的原子量与上述差别很小，例如碳为 12.01115 原子质量单位，因为天然碳除碳-12外，还有一小部分较重的碳-13和碳-14。

原子量也能用克表示，可是 16 克氧是比一个氧原子多很多的原子的质量，它是 6.02×10^{23} 个氧原子的质量。用克表示原子量叫克原子量，这是该元素 6.02×10^{23} 个原子以克计算的质量。6.02×10^{23} 称为阿伏伽德罗数，10^{23} 指 1 后有 23 个 0，或千万亿亿。

元素分类

元素也能分类成族，例如卤族或氮族。这是俄国化学家 D.门捷列夫于 1869 年首先提出的。现将较轻元素按它们的性质排列如下表：

	IA	IIA	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	0
周期	₁氢							2氦
周期	3锂	4铍	5硼	6碳	7氮	8氧	9氟	10氖
周期	11钠	12镁	13铝	14硅	15磷	16硫	17氯	18氩
周期	19钾	20钙						

表 1

在同一竖行中所有元素的化学性质相似，这说明表中这些元素的性质并不是从氢到钙按它们原子量的逐渐增加而逐渐变动的，而是经历一定数目的元素后才逐渐变动，这个数目称元素的周期。然后在下一个周期中重复出现相似性质。为表示这些规律，门捷列夫提出周期律：元素性质是原子量的周期函数。德国化学家 J. L. 迈尔也独立得出同一结论。

按周期律列出的元素表叫周期表。文中表 1 就是按这种方法列出的前 20 种元素。（见：**周期表**）

原子的内部结构

元素能分成族和周期是因为不同种类的原子都是由带电粒子组成的。每个原子的中心是一个原子核，它包含一个或更多的正电荷单位，表 1 元素左下角的数字就是从第 1 个最轻元素（氢）到第 20 个最重元素（钙）的电荷数。

化学家们现在知道周期律按原子核中电荷数排列比按原子量排列更准确。电荷数叫原子序数。原子序数是 H. 莫塞莱于 1912 年提出的，他按照元素发出的 X 射线类型将元素排列成序数。这种序数叫原子序数。后来，E. 卢瑟福证实原子序数正是原子核中正电荷数。

在一个原子中，原子核是由与原子序数相等的负电荷电子所包围，电子分布于各壳层中。

在元素化学符号周围用点表示元素包含电子的情况是常用的简便方法。表 1 中第 1 行的 8 个元素可表示如下：

IA	IIA	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	0
Li·	·Be·	·Ḃ·	·Ċ·	·N·	·O·	·F:	:Ne:

表 2

通常只画出最外面壳层的情况，因为这是引起化学活性的壳层。

电子确定化学性质

一个原子的化学性能是由它的最外层（在较重原子为两层）电子确定。如果最外层是完全的，就是惰性原子。也

就是说在原子中所有的电力都已饱和，没有剩余的电力能促使原子与其他原子相作用。在表1中，惰性原子氦的单一电子层中有2个电子，氖和氩的最外层都已有8个电子。

具有不饱和外层的原子总是寻找各种方法来填满这个壳层。因此外层电子相同的原子具有相似的化学性质，因为它们企图填满外层的方法都差不多。较轻元素的壳层陆续填满至8个电子，然后开始新的壳层。

如何使用周期表

周期表以简便方法将元素分成"成酸类"和"成碱类"。左边这些是成碱类元素；右边是成酸类(见：**酸和碱**)。两者之间的元素两种性能都有，它们的两性氧化物和氢氧化合物在反应时既能像酸也能像碱。氧化铝(Al_2O_3)和氢氧化铝[$Al(OH)_3$]都是两性化合物。

周期表的排列也将元素分成金属类和非金属类。通常按照物理和化学性质来区分典型的金属和非金属。表1中的元素，锂、铍、钠、镁和铝都是金属，其余都是非金属。全部元素的排列见周期表。

金属和非金属的性质

金属	非金属
物理性质	
金属光泽	各种不同的外观
高热导率和电导率	低热导率和电导率
易拉长	不能拉长
有延展性	不能延展
化学性质	
形成碱性溶液	形成酸性溶液
在溶液中形成正离子	在溶液中形成负离子

周期表将元素分成若干个化学族，例如在表1中0族包括氦、氖和氩。这些元素属于叫惰性气体的元素族(有些表中叫VIII族，代替0族)。IA族是氢、锂、钠和钾，除氢以外它们都是质地较软的活性物质，在许多方面像金属的化学性质，与水反应生成碱性溶液，因此被称为**碱金属**。IIA族称为碱土金属。VIIA族是卤族，这些元素是非金属，它们与氢的化合物(HF和HCl)溶于水生成酸。

许多原子序数比$_{20}$钙大的元素结构较复杂，这是因为电子在内壳层要填满18和32个电子，含有这类原子的元素在周期表在IIA和IIIA族之间，叫过渡(或插入)族(表1中未列入)。有些元素如铬、铁和镍等的电子结构使它们生成有光泽的有色溶液。过渡元素包括稀土元素和锕系元素。

原子核如何形成同位素

外层电子决定原子的主要化学性质，但是组成不同会影响原子量，对其他性质影响很小。原子核是由质子和中子组成。一个质子载有一个正电荷等于一个电子的负电荷，在任何原子中质子数和电子数相等。

中子没有电荷。中子数在同一元素的原子中可以改变，这种改变不影响电子数或原子序数，对化学性质影响很小，但影响原子核以及原子的质量。同一种元素具有不同原子量的原子叫同位素。质子加中子的总数叫该原子(或同位素)的质量数，这个数很接近原子量。

元素 ELEMENTS 见：化学元素；周期表

周期表 PERIODIC TABLE

俄国化学家门捷列夫开始将化学元素排列成表。1869年，他按原子量大小顺序把当时已发现的化学元素排列起来。他发现最前面的20个元素，每一个和其后第8个元素在外观、性质和化学活性都相近。例如锂、钠和钾相关，铍、镁和钙也相关。在表中，这些序列出现在IA族和IIA族。

门捷列夫表内有许多空格，原子量的顺序也引起一些元素的化学性质的程序上的矛盾——例如钴和镍。但其他元素的发现填满了空格，原子序数的应用消除了矛盾。

原子是按序递增构成的(见：**原子粒子**)。最轻的原子氢有一个质子(带正电荷)构成的核和一个电子配对。给氢原子核加上一个正电荷和两个中子，再加上一个电子，构成了氦原子。加上数目相等的质子和电子，再加上一些中子构成了其他元素的原子。因为中子不影响化学活性，原子核的正电荷的数目确定了原子的类别。这个数称为原子序数。(参见：**化学元素**)

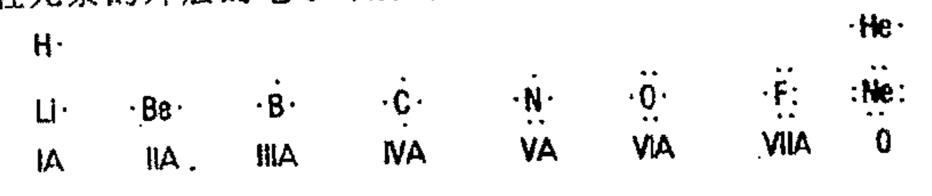
原子序数也表示了元素的特性。元素定义为由相同原子序数的原子构成的物质。而且，在现代的周期表中元素按原子序数排序而不按原子量了。

未充满的电子壳层确定元素的族

原子序数建立了周期表中元素的顺序。原子的未充满的电子壳层的电子数确定元素在周期表中的族，因为未充满的壳层中的电子数影响原子的物理和化学性质。所以使用壳层这个词，是因为原子中的电子按能量水平或壳层在核的周围排列。

元素的全部电子壳层都被充满，称为惰性气体(周期表中的0族)。它们由氦开始，它有两个电子。其余由氖开始，其外层有8个电子。

因为化学活性是由外层未充满的电子引起的，原子的外层电子数相同时就有类似的化学性质。这可以用几个最轻元素的外层的电子(用圆点代表)数表示：



第一周期只有氢和氦，因为氦有一个充满的外电子壳层。第二周期从锂开始，它在氦的满壳层之外有一个电子；这周期终止于氖，它的外层有八个电子，是第二个满壳层。这个排列表明了化学关系。氢一般和锂的作用相似，而氦和氖在化学作用上是惰性的。

第三周期元素的原子的外层又重复上述排列及有关化学性质。第四周期中的钾和钙分别与锂和铍相似，但在钙之后出现了变化。

元素周期表

原子序数 → 19　K ← 元素符号
钾 → 元素名称
原子量 → 39.0983
注*的是人造元素

周期\族	IA	IIA	IIIB	IVB	VB	VIB	VIIB	VIII	VIII	VIII	IB	IIB	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	0	电子层	0族电子数
1	1 H 氢 1.00794(7)																	2 He 氦 4.002602(2)	K	2
2	3 Li 锂 6.941(2)	4 Be 铍 9.012182(3)											5 B 硼 10.811(7)	6 C 碳 12.0107(8)	7 N 氮 14.0067(2)	8 O 氧 15.9994(3)	9 F 氟 18.9984032(5)	10 Ne 氖 20.1797(6)	L K	8 2
3	11 Na 钠 22.989770(2)	12 Mg 镁 24.3050(6)											13 Al 铝 26.981538(2)	14 Si 硅 28.0855(3)	15 P 磷 30.973761(2)	16 S 硫 32.065(5)	17 Cl 氯 35.453(2)	18 Ar 氩 39.948(1)	M L K	8 8 2
4	19 K 钾 39.0983(1)	20 Ca 钙 40.078(4)	21 Sc 钪 44.955910(8)	22 Ti 钛 47.867(1)	23 V 钒 50.9415(1)	24 Cr 铬 51.9961(6)	25 Mn 锰 54.938049(9)	26 Fe 铁 55.845(2)	27 Co 钴 58.93320(1)	28 Ni 镍 58.6934(2)	29 Cu 铜 63.546(3)	30 Zn 锌 65.39(2)	31 Ga 镓 69.723(1)	32 Ge 锗 72.64(1)	33 As 砷 74.92160(2)	34 Se 硒 78.96(3)	35 Br 溴 79.904(1)	36 Kr 氪 83.80(1)	N M L K	8 18 8 2
5	37 Rb 铷 85.4678(3)	38 Sr 锶 87.62(1)	39 Y 钇 88.90585(2)	40 Zr 锆 91.224(2)	41 Nb 铌 92.90638(2)	42 Mo 钼 95.94(1)	43 Tc 锝 (97.99)	44 Ru 钌 101.07(2)	45 Rh 铑 102.90550(3)	46 Pd 钯 106.42(1)	47 Ag 银 107.8682(2)	48 Cd 镉 112.411(8)	49 In 铟 114.818(3)	50 Sn 锡 118.710(7)	51 Sb 锑 121.760(1)	52 Te 碲 127.60(3)	53 I 碘 126.90447(3)	54 Xe 氙 131.294(6)	O N M L K	8 18 18 8 2
6	55 Cs 铯 132.90545(2)	56 Ba 钡 137.327(7)	57－71 La–Lu 镧系	72 Hf 铪 178.49(2)	73 Ta 钽 180.9479(1)	74 W 钨 183.84(1)	75 Re 铼 186.207(1)	76 Os 锇 190.23(3)	77 Ir 铱 192.217(3)	78 Pt 铂 195.078(2)	79 Au 金 196.96655(2)	80 Hg 汞 200.59(2)	81 Tl 铊 204.3833(2)	82 Pb 铅 207.2(1)	83 Bi 铋 208.98038(2)	84 Po 钋 (209.210)	85 At 砹 (210)	86 Rn 氡 (222)	P O N M L K	8 18 32 18 8 2
7	87 Fr 钫 (223)	88 Ra 镭 (226)	89－103 Ac–Lr 锕系	104 Rf 𬬻* (261)	105 Db 𬭊* (262)	106 Sg 𬭳* (263)	107 Bb 𬭛* (264)	108 Hs 𬭶* (265)	109 Mt 鿏* (268)	110 Uun * (269)	111 Uuu * (272)	112 Unb * (277)								

镧系	57 La 镧 138.9055(2)	58 Ce 铈 140.116(1)	59 Pr 镨 140.90765(2)	60 Nd 钕 144.24(3)	61 Pm 钷* (147)	62 Sm 钐 150.36(3)	63 Eu 铕 151.964(1)	64 Gd 钆 157.25(3)	65 Tb 铽 158.92534(2)	66 Dy 镝 162.50(3)	67 Ho 钬 164.93032(2)	68 Er 铒 167.259(3)	69 Tm 铥 168.93421(2)	70 Yb 镱 173.04(3)	71 Lu 镥 174.967(1)
锕系	89 Ac 锕 (227)	90 Th 钍 232.0381(1)	91 Pa 镤 231.03588(2)	92 U 铀 238.02891(3)	93 Np 镎 (237)	94 Pu 钚 (239.244)	95 Am 镅 (243)	96 Cm 锔 (247)	97 Bk 锫* (247)	98 Cf 锎* (251)	99 Es 锿* (252)	100 Fm 镄* (257)	101 Md 钔* (258)	102 No 锘* (259)	103 Lr 铹* (260)

注：1. 原子量录自 1999 年国际原子量表，以 $^{12}C=12$ 为基准。原子量的末位数的准确度加注在其后括弧内。
2. 括弧内数据是天然放射性元素较重要的同位数的质量数或人造元素半衰期最长的同位数的质量数。
3. 105–109号元素中文名称分别读作dù（𬭊）、xǐ（𬭳）、bō（𬭛）、hēi（𬭶）、mài（鿏）。
4. 此表取自商务印书馆：《现代汉语词典》，2002年增补本附录。

过渡元素有未充满的较内电子壳层

一个中性的钪原子比钙原子多一个质子和一个电子。钪的增加的电子填入内壳层而不进入最外面的壳层。增加的电子进入重新开放的内壳层(第三层)直到充满 18 个电子的铜原子。如此形成的一列元素称为第一列过渡元素。在铜原子中所增加的电子(第 17 个电子)进入内壳层并把原在较外层配对的一个电子(第 18 个电子)也拽入内层。而在下一元素锌中,外层的电子对又恢复了。

在锌之后,继续充填外壳层到 8 个电子,即惰性气体氪。在周期表的其余部分,都在钪的对应点出现过渡元素系列。事实上,在周期 6 和 7 在过渡系列中都还有一个系列。因为最外壳层保持不变时,有两个内壳层需要充填。在周期 6,一个内壳层(第四层)要从 18 填到 32,形成镧系元素。然后从铪开始到汞充填第五壳层,此后到氡充填第六壳层。

惰性气体 NOBLE GASES

包括氦(He)、氖(Ne)、氩(Ar)、氪(Kr)、氙(Xe)和氡(Rn),属周期表 0 族(最右边一栏)。这 6 种气体元素是由非常稳定的原子组成的,几乎从不与其他元素发生反应。刚发现这些气体时,被认为是非常稀少和完全不活泼,因此被命名为稀有气体、不活泼气体或惰性气体(在化学和炼金术中长期将"noble"表示为缺乏化学反应性)。

1962 年英国哥伦比亚大学的 N. 巴利特成功地将稀有气体氙与氟(一种非常活泼的气体)反应生成第一个氙化合物。此后科学家们发现在适当条件下另一些重稀有气体如氡和氪也能与氟化合。

稀有气体都是无色、无味和不易燃的。它们并不像通常认为的那样稀少,都是空气的次要组分,氦还是某些天然气的组分之一。事实上氦是宇宙中除氢以外最丰富的元素,几乎占总质量的 25%。

稀有气体化学性质稳定,在商业上已开发若干用途。通常稀有气体可用分馏法从空气中提取。它们常作为惰性和不可燃大气用于填充比空气轻的飞船;切割、焊接和精炼金属;制造晶体管所需的纯晶体硅。有些气体用于霓虹灯、荧光照明和放电式灯。矿物因放射衰变产生的氦和氩,常用来测定一些样品的年代。(参见:**化学元素;化学;周期表**)

氦 HELIUM

在地球上找到氦以前,已确认它存在于太阳周围的气体中。1868 年英国天文学家 J. N. 洛克耶用光谱分析法从太阳光谱中发现氦。氦的英文名来自希腊文 helios,原意是"太阳"。

氦的性质

符号 …………………… He	密度(0°C) …… 0.1785 克/升
原子序数 …………………… 2	沸点 ………………… −268.9°C
原子量 …………… 4.0026	熔点 ……………… <−272.2°C
周期表族类 ……………… 0	

氦为无色、无味气体,化学性质不活泼,不能与其他材料共燃或反应。在元素中氦的沸点最低。在已知气体中,氦是仅次于氢的第二个最轻元素。在宇宙中的丰度也仅次于氢,占第二位。它在恒星周围丰度最大,主要由氢的核聚变形成。由于地球的重力不足以阻止氦逐渐逃往太空,氦在地球大气中只占 $\frac{1}{200\,000}$。地球大气中的氦由较重的物质的放射性衰变形成。

世界上的氦大部分存在于美国的天然气沉积物中,在加拿大、南非、撒哈拉沙漠等地也发现少量氦。

氦质轻、不易燃烧,是比空气轻的航空器的理想填充物。由于氦的沸点接近绝对零度,广泛用于低温研究,对超导研究也很重要。氦还用于电弧焊接。深海潜水员呼吸氦-氧混合气可防止减压病(又称沉箱病)。

氟 FLUORINE

最活泼的化学元素。有毒的淡黄色气体,几乎能与所有普通物质迅速反应。在常温下氟能使任何有机物质和许多金属燃烧。1886 年法国化学家 H. 穆瓦桑首次制得单质氟。属卤族元素。(见:**卤素**)

氟以化合物的形式存在于自然界。最普通的氟化物是萤石或氟化钙,也存在于冰晶石矿、氟磷灰石矿、海水、骨骼和牙齿中。将萤石同硫酸共热生成氟化氢,这是一种在室温下就能沸腾的有毒液体,能引起皮肤剧痛和深度灼伤。氟化氢的水溶液叫氢氟酸,可用做蚀刻或电灯泡内部的磨砂。含氟的冰晶石矿可用于从铝土矿中提取铝。(见:**铝**)

没有任何化学反应能将氟从其化合物中分离出来。只有将电流通过含有氟氢化钾的氟化氢液体才能制得氟。生产的氟为量极少,直到第二次世界大战,在原子弹工程中为了分离同位素(元素的不同形式)的需要才生产它。现今生产的大部分氟也用于这一目的,即为核电站分离铀的同位素。少量氟用于制备六氟化硫,在电气装置中用做气体绝缘体。

在塑料瓶制造中,通常是用压缩空气将熔融的塑料压入模子,用这种方法制成的瓶子,储存的液体往往穿过瓶壁挥发。如果用氮和氟的混合气体取代空气压缩塑料,氟就会与塑料瓶内壁表面起作用,大部分溶剂不能穿透瓶壁,因此能储存许多种液体。

在牙膏和饮水中加入若干氟化合物可防止龋齿。氟化氢和三氟化硼能加速原油变成汽油和其他产品的化学反应。氟化氢也用于制备许多有机氟化合物。(见:**氟碳化合物**)

氟的性质

符号 …………………… F	相对密度(0°C) ……… 1.696
原子序数 ……………… 9	沸点 ……………… −188.14°C
原子量 …………… 18.998	熔点 ……………… −219.62°C
周期表族类 ………… VIIA	

氢 HYDROGEN

宇宙中最轻和储量最丰富的元素。纯氢为无味、无色、无臭气体。人们相信,在氢、氦和全部较重元素构成的宇宙中,氢约占宇宙质量的四分之三。在地球上氢主要与氧结合存在于水中(它的英文名来

自希腊文，原意是"水素"）。氢也存在于有机物中，如活的植物、石油和煤炭，在大气中还有少量单质氢。氢与其他元素化合，形成许多化合物，有时还会爆炸。氢原子相互结合形成氢分子(H_2)。

氢的性质

符号…………………H	密度(20°C)……0.08988 克/升
原子序数……………1	沸点………………-252.87°C
原子量…………1.0079	熔点………………-259.14°C
周期表族类 ……… IA	

将水蒸气通过加热的炭（焦炭或煤炭）能生成氢，天然气加热能分解成氢和炭黑。氢也可用电解水、从酸中置换或铝与有些氢氧化合物反应等方法制备。

氢原子的种类

氢是最轻的元素，它只由两个粒子组成，这是形成中性原子的最低数目。氢原子含有一个带1单位正电荷的质子构成的核和一个带1单位负电荷并与这个核相联系的电子。

最普通形式的氢或氢的同位素是含有两个粒子的简单原子。化学家们称它为氕。另外还发现两种其他同位素。一种同位素的重量是氢的两倍，称为氘，质量数为2，在原子核中有一个中子和一个质子。"重水"比普通水的密度大，它由燃烧氘制得。另一种同位素的重量是氢的三倍，称为氚，在原子核中有两个中子和一个质子。氚有放射性，在地球的上层大气中自然形成，也可在原子反应堆中用中子轰击锂人工合成。氘和氚都用于制造氢弹。

1929年证实，除同位素外在正常条件下氢气是正氢和异氢两种分子的混合物，它们的差别在于电子和核的自旋不同，因此物理性质也不同（粒子自旋的详情，见：**原子核物理学**）。在室温下，正常的氢含有25%异氢和75%的正氢。

太阳和地球上的氢

氢存在于包括太阳在内的大部分星球中。这种大熔炉将氢转变成氦，其化学反应与氢弹爆炸相似（见：**核能**）。由这种化学反应产生的能量以热、光和其他形式的辐射传送到地球（见：**辐射；太阳**）。如果没有氢，太阳就不能提供维持地球生命所需的能量。

在地球上，氢广泛用于合成氨和甲醇，石油燃料脱硫，以及把某些炼油厂副产品精炼成稳定的挥发性产品。它还用于有机化合物的氢化，以及制备溶剂、工业用化学物和人造黄油、糕点起酥油等食品。氢曾用来充填比空气轻的航空器如气球和气艇，后因它易燃，现已大部分由不可燃的氦气取代。

碱金属 ALKALI METALS

包括锂、钠、钾、铷、铯和钫6个化学元素，钫为非常稀少的放射物质。碱金属位于元素周期表第一栏。因这些金属与其他元素化合生成碱（一种强碱，能中和酸），故名碱金属。（见：**酸和碱**）

碱金属与一些熟悉的金属像铁和锡极少相似之处。它们都是银白色、可延展和易用刀切割的软金属。碱金属是化学活性最强的金属，能迅速形成带一个正电荷的离子，这是由于这些原子的最外层只有一个高活性电子。碱金属与氧和水都能迅速反应，有时很剧烈。由于碱金属反应性很强，它们在自然界经常与其他元素化合生成简单或复杂化合物。纯碱金属可通过电解它们的熔融盐类或氢氧化合物来制取（见：**电化学**）。锂和铯也可用热还原法制得。在实验室中纯碱金属通常存放在油中，以防止它们与其他元素生成化合物。

在碱金属中只有钠和钾在地壳中有相当丰度，由于这两种元素和它们的化合物有许多重要用途，将单独设条介绍。（参见：**钾；钠**）

锂是金属中最轻的一种，它的合金可用于加强钢铁的抗张强度，也在精炼铜和一些其他金属中用作净化剂。锂盐能使玻璃、搪瓷和陶瓷釉料增强耐热性，有些锂盐也用于电动汽车的实验性高电压电池。锂化合物还有其他各种用途，例如碳酸锂可作治疗躁狂抑郁性精神病患者的精神障碍药物。

金属铷被光照射时能极迅速电离，常用于光电池中。铯金属有更好的光电性能，可用于制作特殊用途的科学仪器，用来测量宇宙线和核粒子发射的极微弱电磁辐射。利用铯电离发电的方法正在研究中，即将这种元素作为固体燃料用于航天器的离子推进发动机。

钫的化学性质与铯非常相似，但不稳定。它是锕放射衰变的产物，钫又很快分裂成镭或砹。因此钫只短暂存在于自然界，可是物理学家已成功地在粒子加速器中轰击钍人工制得钫。

碱金属

锂…………………Li	铷…………………Rb
钠…………………Na	铯…………………Cs
钾…………………K	钫…………………Fr

钠 SODIUM

没有钠化合物生命就不能存在。这些化合物能保持机体组织的水分，钠的严重缺乏能致死。血液中也含有钠化合物。在工业中钠化合物用于制造化学品和药物，还用于冶金工业、钠蒸气灯和生产许多日用品。最普通的一种钠化合物是食盐或氯化钠(NaCl)。纯钠为银白色、质软的蜡状金属。钠是地球上含量占第6位的丰富元素，在其他星球和太阳中也有少量存在。

钾化合物与相应的钠化合物相似，在工业中一般可以相互取代，例如硅酸钠、硅酸钾或者两者均可用于玻璃制造业。

钠和钾在地壳中的含量相等，由于钠化合物比较便宜，在工业中比钾用途更广。1789年法国化学家N.吕布兰发明从食盐中制造苏打（纯碱），使生产成本大为降低，但化学家从未将这个发明用于钾化合物。

俗称苏打的钠化合物是碳酸钠(Na_2CO_3)。粗碳酸钠称为苏打灰。这种碳酸化合物与水结合成晶体，叫洗涤碱。苏打可用于制造肥皂、玻璃、染料和炸药，也是制造其他钠化合物的基础材料。有一些用途的其他钠化合物有：小苏打（碳酸氢钠），是发酵粉的一种组分；硼砂（四硼酸钠），是一种食品防腐剂；苛性苏打或碱液（氢氧化钠），用于制造肥皂。

硝酸钠($NaNO_3$)可用做氮肥和甘油炸药的组分，通常称智

利硝石，这是因为它主要存在于北智利的一个大矿藏中。

钠属于碱金属元素（见：**碱金属**）。自然界从未发现游离钠存在。1807 年由英国科学家 H. 戴维爵士首先分离得到。钠比水轻，在室温下可用刀切割，低温下性脆，易导热、导电，并具有光电效应，在光照下能发射电子。纯钠在空气中迅速氧化。钠与水能发生剧烈反应，与水中的氧和部分氢生成氢氧化钠，剩余的氢气释出，也会因反应热而燃烧。纯金属钠通常由电解氢氧化钠得到，它必须保存于煤油中，以防止接触空气和湿气。纯钠的少数用途之一是用做公路上的钠蒸气灯。

在制造苏打的吕布兰法中，首先将食盐（氯化钠）同硫酸共热，食盐中的钠与酸中的氢互相置换，得到氯化氢（或盐酸）和硫酸钠（芒硝），然后经过几个步骤制得碳酸钠和硫化钙的混合物，再用水将碳酸钠从混合物中分离出来。

另一种制造苏打的方法叫索尔维法，以发明此法的比利时人命名。此法于 1863 年普遍推广，大量地取代了吕布兰法。在索尔维法中，用二氧化碳的气泡由下而上地通过饱含氨的盐水，促使反应，生成氯化铵和碳酸氢钠（$NaHCO_3$，小苏打）。碳酸氢钠以结晶形式沉淀并被过滤出来，经加热除氢、碳和氧，得到碳酸钠（苏打）。

电解法是较新的方法。将电流通过氯化钠溶液，使盐分子分裂成钠和氯原子（见：**电化学**），然后钠原子取代水中一个氢原子生成苛性苏打（NaOH）。

钠的性质

符号……Na	相对密度(20°C)…0.971
原子序数……11	沸点……882.9°C
原子量……22.9898	熔点……97.81°C
周期表族类……IA	

钾 POTASSIUM

生命所不可缺少的化学元素。在高级动物体内，钾离子和钠离子在细胞膜处发生作用，使神经和肌肉纤维能传递电化学刺激，并平衡细胞摄取养料和排泄废物的活动性。

钾是第一个用电解法分离出来的金属。1807 年英国化学家 H. 戴维用电解法从熔融的氢氧化钾（KOH）得到钾。钾是带有银白色光泽的软金属，属碱金属元素（见：**碱金属**）。钾在空气中迅速氧化，也与水发生剧烈反应生成氢氧化钾和氢气（燃烧）。因此，钾必须浸没在矿物油中保存。自然界从未发现游离的钾存在，也很难从它的化合物中分离得到。

钾是地壳中含量占第 7 位的丰富元素，存在于许多硅酸盐岩石和矿物中。主要产源是盐矿，少量从动植物来源获得。水溶性钾化合物常存在于一些干涸的矿物性沉积物和盐湖水中，采收便宜。大部分钾存在于不溶的矿物中，很难提炼，但是工业上可通过电解法从一些精炼的矿物中制备。

钾化合物有许多用途。氯化钾（KCl）用于制备其他钾化合物和肥料。从电解氯化钾产生的氢氧化钾，又称苛性钾，是一种吸水性物质，可用于制造肥皂和洗涤剂。苛性钾也用于制备许多钾盐，例如碳酸钾（K_2CO_3），是一种吸水性物质，可用于制造玻璃、纺织染料和金属的清洁和电镀。

硝酸钾（KNO_3）又称硝石或钾硝，广泛用做肥料、焰火、炸药和食品防腐剂。氯酸钾（$KClO_3$）作为一种氧源用于焰火、火柴和炸药。将碘化钾（KI）加入食盐和动物饲料中可防止碘缺乏症，它也用于治疗甲状腺和某些真菌感染。硫酸钾（K_2SO_4）可用做轻泻剂和制造肥料、橡胶和碳酸钾。氰化钾（KCN）是一种毒品，用于生产一些杀虫剂，也是氰化氢熏蒸剂的原料，它也用于从矿物中提取金和银。（参见：**钠**）

钾的性质

符号……K	相对密度(20°C)……0.862
原子序数……19	沸点……760°C
原子量……39.0983	熔点……63.25°C
周期表族类……IA	

碱土金属 ALKALINE EARTH METALS

包括铍、镁、钙、锶、钡和镭 6 个化学元素。位于周期表第二栏。将这些元素名称加上“土”是因为中世纪以前的炼金术士将许多不溶于水又耐火的物质称为土。（见：**炼金术**）

碱土金属基本上是灰白色，只是深浅略有不同。都有延展性，但硬度明显不同。例如铍非常坚硬，能刻划玻璃，而钡像铅一样柔软。与碱金属不同，许多碱土金属不溶于水。可是它们的化学性质活泼，能与大部分氧化物和许多非金属化合，因此自然界从未有纯金属存在。除镁以外，纯金属可通过电解熔盐制得。（见：**电化学**）

碱土金属

铍……Be	锶……Sr
镁……Mg	钡……Ba
钙……Ca	镭……Ra

碱土金属中只有镁和钙在地壳中含量丰富，它们也是该族中最有商业价值的成员，因此单独设条介绍。（参见：**钙**；**镁**）

铍是硬金属中最轻的一种，但机械强度很高，耐热、耐腐蚀，能加工成精度很高的部件，常用于航天工业，例如加工火箭和宇宙飞船的结构部件。铜合金中加入铍可作切割工具和改善弹簧的回弹性和耐疲劳性。

锶化合物有一些用途。硝酸锶由于在燃烧时发出剧烈的红色火焰，常用于照明弹和烟火装置。硫化锶具有发光性质，可用于有些发光漆。锶的两种人造同位素，锶-89和锶-90对健康非常有害，从核爆炸的一些废弃物中发现的这些长寿命放射性同位素，能损害骨髓和引起癌症。

金属钡像金属锶一样只有少量用途，可是它的许多化合物在工业上很重要。例如，碳酸钡可用于生产精致的玻璃制品和光学玻璃；硫酸钡是一种极难溶盐，可作油漆和化妆品的颜料，以及纸张和橡胶制品的填料。

它还有一个重要的医疗用途。医生在给病人做胃肠或消化道射线照片（X 射线照片）前，通常让病人服一些硫酸钡溶液，这种钡化合物吸收 X 射线，可作为一种优良反差中间体，使射线照片上能见到肠道。

碱土金属中最重的元素镭是强放射性元素，在自然界由铀-238的衰变不断形成。镭曾长期用于治疗恶性肿瘤，现在这些治疗已大部分由一些危险性较小的放射性同位素所取代，例如钴-60。镭也是放射性元素氡的主要来源，氡也用于一些医疗过程和实践。

镁 MAGNESIUM 最轻的普通金属。其重量只有同体积铝的$\frac{2}{3}$，是地壳中含量占第8位的丰富元素。广泛用于航天工业。一个用钢制造的飞机部件重32千克，而用镁制造只有7千克。纯金属强度不太高，新研制的各种镁合金在强度、抗张强度、耐腐蚀性上均有提高，并改善了铸造、焊接和机械加工性能。这些合金适于制造飞机和船天器部件、火箭组成部分、汽车装置、轻便机械、轻便工具和家用器具等。

镁的粉末、锉屑、丝和箔容易燃烧发出极强的白光，因而用于照明弹、焰火和照相用闪光灯。1808年英国化学家H. 戴维爵士分离得到单质镁，他通过电解潮湿氧化镁和氧化汞混合物，然后再蒸发这种混合物制得金属镁。

自然界不存在单质镁，但有许多镁化合物，许多土壤和岩石含有镁化合物。含镁的两种最常见的矿物是菱镁矿（碳酸镁）和白云石（碳酸镁钙）。在动物的消化系统中，酶的镁离子将食物变成营养物。镁原子是每个叶绿素分子的组分。海水含有氯化镁和硫酸镁，氯化镁使海水具有苦味。现在大部分金属镁是由电解海水或深井盐水制得的。

有用的镁化合物还包括：氧化镁，可用做塑料、合成橡胶、肥料、水泥、高温炉用耐火砖的配料。另一种是碳酸镁，可用作绝缘材料、一些墨水和许多化妆品的组分。

氯化镁可用于制造氯氧水泥，它是重负荷地面材料成分中的黏合剂，它也是有些肥料的组分。氢氧化镁（氧化镁乳剂）和硫酸镁（泻盐）是常用的药品，硫酸镁还用于制革、纺织和肥料工业。在许多硅酮中还含有镁的一种复杂化合物。

镁的性质

符号…………Mg	相对密度(20°C)…………1.74
原子序数…………12	沸点…………1 090°C
原子量…………24.305	熔点…………641.8°C
周期表族类…………IIA	

钙 CALCIUM 地壳中含量占第5位的最丰富元素。属碱土金属（见：**碱土金属**）。自然界不存在游离钙，而钙化合物分布很广，最常见的是石灰石。钙有许多重要工业用途，在精炼铁、钢、铜和铜合金中用作脱氧剂，也是几种铅和铝合金的组分之一，还用于从一些矿物中提取某些金属。

石灰石、大理石、白垩、冰洲石、珊瑚、珍珠和蛋壳都主要由碳酸钙组成。白垩是海洋小动物外壳的钙沉积物。方解石是碳酸钙的结晶形式；冰洲石是它的另一种形式，能产生双折射光。二氧化碳在水中有助于溶解碳酸钙，因此在石灰石山洞中滴水的蒸发能形成钟乳石和石笋。

石灰或生石灰（氧化钙）可由石灰石、大理石或白垩在大炉中焙烧，迫使二氧化碳由碳酸钙分离出来，在炉中留下石灰。它主要用于制备灰浆（或灰泥），先在石灰中加水制得熟石灰（这种用水熟化的石灰是氢氧化钙），然后与沙、水、纤维（或毛发）混合即得。氢氧化钙通过吸收空气中的二氧化碳而变硬。

石膏是硫酸钙，石膏受热时失去$\frac{3}{4}$的结晶水变成烧石膏。碳化钙是由石灰石与焦炭在电炉中加热制得，它与水反应能产生乙炔气；与氮气共热可产生碳和制造肥料的氰氨化钙，再用热水或过热蒸汽处理氰氨化钙得到氨。氯化钙易吸湿气，可用于道路治尘。

钙是动植物生存的必需元素。植物生长需要充分的钙，一些缺钙土壤常用磷酸钙（一种可溶性钙化合物）作肥料以补充钙。缺钙能影响骨骼正常生长，血液中必须有钙才能凝结。钙也有助于神经系统，并为肌肉收缩所必需。奶制品、水果和绿叶蔬菜是钙的最好来源。

钙的性质

符号…………Ca	相对密度(20°C)…………1.55
原子序数…………20	沸点…………1 484°C
原子量…………40.08	熔点…………839°C
周期表族类…………IIA	

镭 RADIUM 放射性元素镭是19世纪最后几年最重要的发现之一。青年科学家M. 居里用关于物质性质的革命性科学观点研究这个稀有元素，使她的名声大振。（见：**居里一家**）

她对H. 贝可勒尔1896年关于铀呈现放射性的发现感兴趣（见：**放射性**）。她开始对铀和其他化学元素的不同化合物进行可能存在放射性的实验。

她发现沥青铀矿的放射性比氧化铀大3-4倍。M. 居里由此推论在矿中一定有一些从前未知的元素产生这种放射性。在她的丈夫、法国物理学家P. 居里的帮助下寻找这种物质。1898年7月居里夫妇宣布发现一种比铀的放射性大400倍的化学元素。这种元素与铋化合物一起沉淀，表明它的化学性质与铋相似。居里将这种新元素命名为钋，以纪念她的祖国波兰。

在研究沥青铀矿中，居里夫妇从矿中分离出另一种与钡化合物在一起的放射性物质。经过将氯化钡反复分步结晶，居里夫妇得到一种比铀的放射性约大900倍的结晶物质。因为居里夫妇知道钡没有放射性，他们断定还有另一种元素是放射性的来源。他们在1898年12月宣布发现一种放射性元素，命名为镭。

1902年，居里夫人成功地分离得到不含钡的0.1克氯化镭。一直到1910年，居里夫人和A.-L. 德比埃尔内才制备出纯镭。纯镭的放射性比铀或钍任何一种都要大100万倍以上。

镭的性质和用途

镭是亮白色金属元素，化合价+2（见：**化学**）。纯镭能分解水，在空气中变黑，很易与酸反应。镭有4种天然放射性同位素，其他能在实验室生产。主要天然同位素的半衰

期为1 620年。

P.居里用镭审慎地烧伤自己以研究它对身体的作用。开始时镭的危险没有被认识到，许多工人死于镭的辐射效应，现在镭的操作工人都用铅或混凝土制的屏蔽防护，并用闪烁计数器随时检测辐射泄漏。

镭的性质	
符号……………………Ra	相对密度(4℃)…………约5
原子序数………………88	沸点……………………1 140℃
原子量………226.0251	熔点……………………700℃
周期表族类…………ⅡA	

镭的最常用形式是氯化镭和溴化镭那样的盐类，它们最早用于治疗癌症。使用镭的常用器械是小玻璃容器叫镭管。这些容器中注满微量镭或氡——它是镭蜕变生成的放射性气体元素。有时相当大数量的镭放在形如炸弹的铅容器中，置于座架上，以取代X射线管。可是在许多治疗中，镭已被更便宜和较强的人工同位素钴-60和铯-137所取代了。

在工业上，硫酸镭可用于射线照相测试仪器，以探测金属的裂缝。镭化合物也用于发光漆。镭和铍的混合物是一种中子源，常用于科学研究和石油的地球物理勘探，即使在这些用途中，也可用更便宜的代用品替代。

从铀矿制备镭

镭在所有铀矿中都有少量存在，因为它是铀的衰变产物(见：铀)。主要商业来源是沥青铀矿，一种重的黑色非结晶性铀矿。其他是：灰黑色结晶性沥青铀矿；软的亮黄色钒酸钾铀矿和略呈绿色到柠檬黄的发光钙铀云母。

从矿物中提取镭的商业方法与居里夫妇使用的方法相似。将矿石压碎，与作为镭载体的钡盐一起放入酸中浸提，将沉淀物煮沸，再用化学品处理，最后用重复的分步结晶法将镭盐与钡化合物分离，得到理想纯度的产品。

铝 ALUMINUM

银白色的化学元素，最重要的工业用金属之一。除镁和铍外，它是最轻的结构金属。具有良好的延展性，能铸造、辗压、冲压、拉伸、机械加工或挤压，而且耐腐蚀，能反射热，是电的良好导体。纯铝质软，抗张强度相对较低，如果与铜、镁或锌制成合金，就能改善其硬度和强度。除铁和钢以外，铝比任何其他金属用途更广。

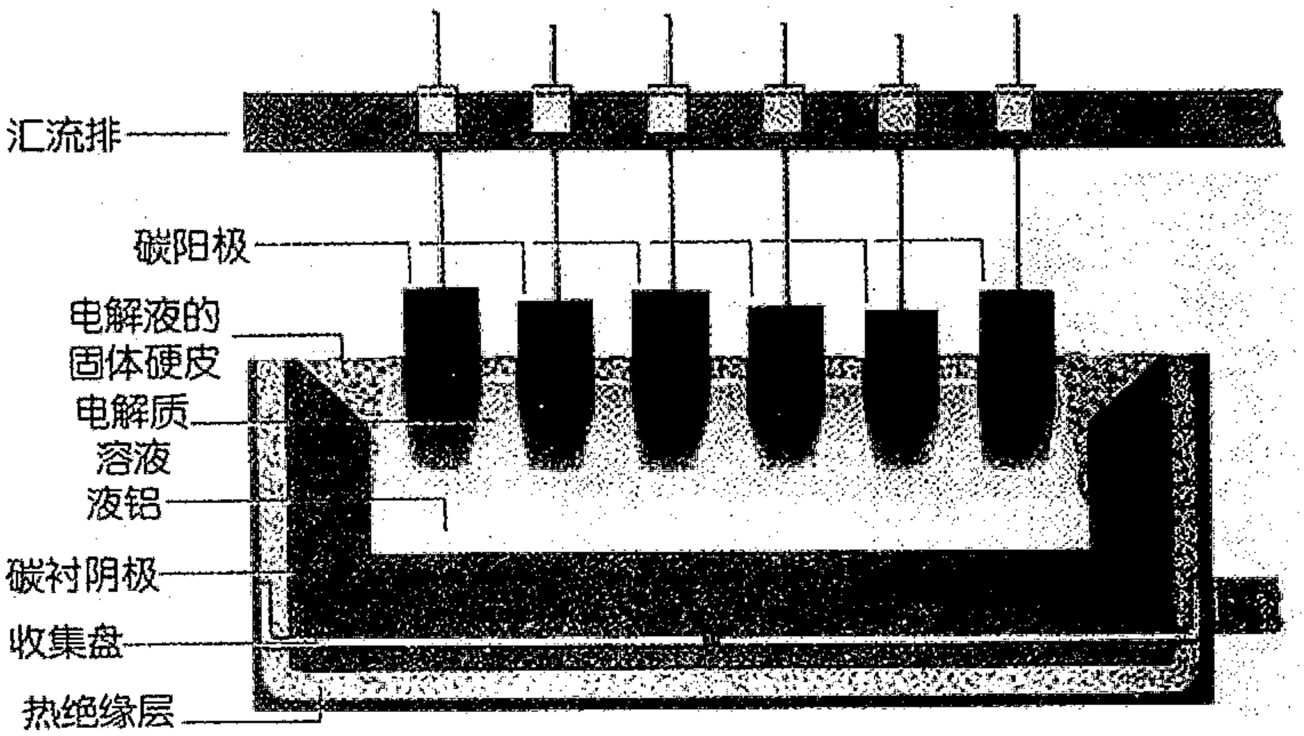
纯铝金属可用于电子部件、反射器、器皿和精制珠宝饰物。铝粉与其他物质混合可生产金属涂料、火箭推进剂、照明弹和焊料。铝合金的用途更广泛，铝-铜合金比某些类型钢的机械性能要好，广泛用于建筑物的结构部件、航空器、宇宙卫星、火车车厢和船只。另外，在反复强调节约石油的刺激下，这种强度高质轻的合金已广泛用于制造汽车和其他机动车。铝-硼合金的导电性与铜相近，但轻得多，使这种合金更适宜作架空传送电缆。铝镁合金有特殊的耐气候性和耐腐蚀性，常用于板壁、屋顶、窗框和其他建筑五金，也用于储油罐和公路指示牌。铝基镁合金有许多相同的性质，可焊性还特高。最重要的商业用途是制造器具、食物和饮料的包装材料，主要以箔包装和罐头形式使用。

20世纪80年代末，世界铝年产量总计约2 000万吨。美国是世界最主要的铝生产地，它的产量约占世界总产量的$\frac{1}{4}$。其他主要铝生产国有苏联、加拿大和澳大利亚。铝易于回收，所用能量比制造原铝的5%还少。

铝原料——铝土矿

铝是地壳中最丰富的金属，以硅酸盐或氧化物的形式存在于每种黏土层和大部分普通岩石。可是现在从黏土中提炼这种金属是不经济的。在美国几乎所有的铝都来自铝土矿(铝土矿的英文名字 bauxite 来自法文"Baux"，这是首次发现铝土矿的法国地名)。

铝土矿含有水合矾土($Al_2O_3 \cdot 2H_2O$)，常与铁、硅和二氧化钛等杂质结合在一起。矿物本身可能像黏土那样松软，也可能像岩石那样硬，有几种颜色。铝土沉积矿通常接近地球表面，可以露天开采。如果是深层矿，矿工需要挖矿井和坑道才能到达矿层。



用电解法制铝。在电解槽中，强电流通过汇流排从阳极通向阴极。电解质中的矾土分裂成氧和铝。

大部分国家都有铝土矿，但较大的沉积矿在热带地区，特别是几内亚、牙买加和苏里南。法国、意大利、希腊和澳大利亚也广泛开采。美国开采的大部分铝土矿来自阿肯色州。加拿大没有自己的铝土矿，靠大量进口。

铝土矿附近的工厂先将它碾碎，在装船运送到处理工厂前有时还进行干燥处理。首先去除矿物的杂质，这个精炼过程把铝土矿变成氧化铝或矾土。约 2－3 公斤的铝土矿能制得 1 公斤矾土，0.5 公斤的生铝。

1888 年，奥地利化学家 K.J. 拜耳开发了一种重要的回收矾土方法。在拜耳法中，粉末状铝土矿与热的苛性苏打（氢氧化钠）混合。在称做蒸煮器的高压槽中，铝土矿中的水合氧化铝生成铝酸钠溶液。称做红泥的杂质以固体形式沉淀并被过滤掉。将热溶液压入高沉淀槽，当溶液冷却，析出氢氧化铝结晶。在窑内将结晶加热至白热，去除化学结合水，得到纯矾土。

矾土用电解法还原成纯铝（见：**电化学**）。在制造铝的电解槽中，矾土溶于电解槽内的电解质中，然后将强电流通过溶液，将矾土还原（去除氧），使几乎纯的铝在槽底沉积。当铝液积聚到足够量后，被吸出铸成铝锭。

电解槽是一个有碳衬的长方形钢壳。碳衬用做阴极，悬挂在槽中的碳阳极由汇流排将电流导入。由矾土放出的氧与阳极的碳生成二氧化碳气体，从槽中冒出。生产 0.454 公斤铝约需 6－8 千瓦小时电。

电解槽内容纳熔融的冰晶石矿物，一种铝和钠的氟化物（Na_3AlF_6）。只有格陵兰存在天然冰晶石的巨大沉积矿，也可用合成的冰晶石。

生铝含有一些来自电解液的杂质，这些杂质可通过再熔融去除，使铝符合使用要求。“商业纯”铝的纯度超过 99%。铝在再熔融过程中还能与其他金属合铸。再熔融的金属可铸成不同尺寸和形状的锭块。

铝的早期研究

从《圣经》时代起，人们早已会用明矾，自然界存在的一种铝化合物。它的化学性质一直到 1746 年才由德国化学家 A. 马格拉夫鉴定，他证明明矾中含有一种未知的金属，现称铝。科学家们用了数十年时间试图分离铝。1825 年丹麦科学家 H.C. 奥斯特取得成功，但他不能重复他的试验。德国化学家 F. 维勒继续寻找生产纯铝的方法，1845 年他用钾分解无水氯化铝，分离得到少量的铝金属。

数年后，法国化学有 H.S.C. 德维尔用较便宜的钠取代钾，在 1855 年巴黎展览会上展出一个铝锭。国王拿破仑三世委任德维尔为军队装备寻找制造大量铝的便宜方法。这个法国化学家每年能生产几吨铝，足够使科学家和制造商开始认识铝。

1886 年美国的 C.M. 霍尔和法国的 T. 埃鲁各自独立地开发了用电解法还原明矾制造纯铝的方法，即将明矾溶于冰晶石熔液中，然后用电使它分解。这种方法一直沿用至今。

铝的性质

符号	Al	相对密度（0°C）	2.699
原子序数	13	沸点	2 467°C
原子量	26.9815	熔点	660.37°C
周期表族类	IIIA		

碳 CARBON

如果没有碳元素，像我们所知道的这样的生命不可能存在。碳为植物和动物的一切组织提供了框架。这些组织是由聚集在碳原子组成的链和环上的元素建成的。碳还提供了煤、焦炭、石油、汽油以及天然气等燃料。糖、淀粉、纸是碳和氢、氧的化合物。毛发、肉、丝含有碳以及氮、磷、硫等其他元素。

已经知道的碳元素的化合物有 650 万种以上，它比任何其他元素的化合物的数量多好些倍，而且总在发现和合成许多新的碳化合物。有几百种碳化合物是重要的商品，而碳元素本身的各种形式，诸如金刚石、石墨、木炭、炭黑，以及富勒烯也是必需品。

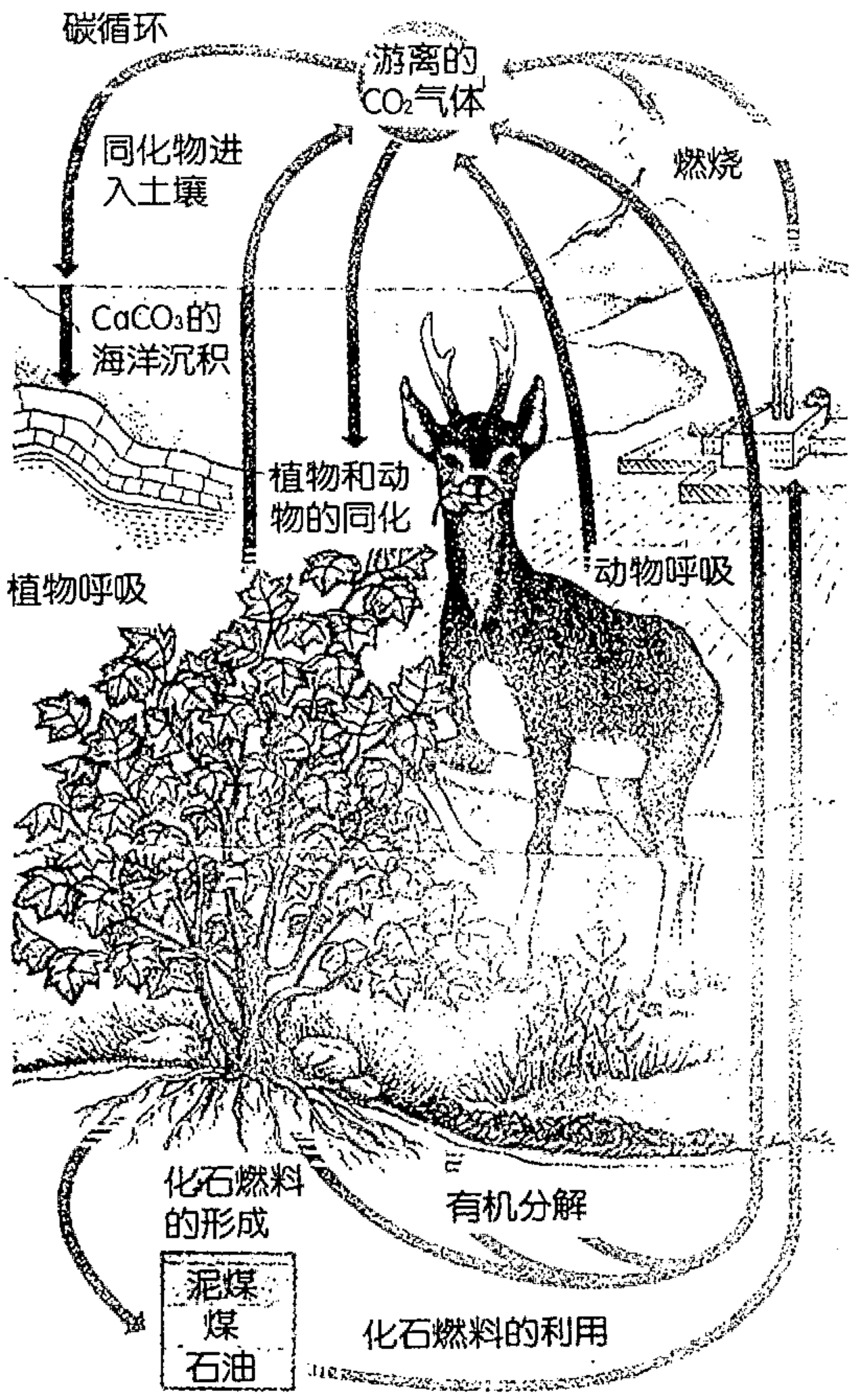
自然存在的碳，是宇宙中第 6 个高丰度元素，是地壳里存量占第 19 位的元素。以石墨、金刚石和富勒烯的形式存在的碳元素，只占地壳的小部分，但是碳和其他元素形成的化合物是非常普遍的。碳原子的化学符号是 C。含碳量高的常见的自然物质有：煤、汽油、天然气、油页岩、石灰石、珊瑚、贝壳、大理石、白云石，以及菱镁矿等。石灰石、珊瑚和菱镁矿也含有钙和镁。

煤、石油、天然气和油页岩主要是来自动物和植物的物质，它们沉积在地下千百万年，在高压下分解成为碳和氢的化合物。这些沉积物曾经是所谓碳循环的一个部分。碳循环是一个一直仍在进行着的动态系统。植物通过光合作用，利用日光，把空气中的二氧化碳和土壤里的水转变为像纤维素这样的组织以及像糖这样的食物源。植物在合成糖和纤维素这些碳水化合物的时候，把氧释放到空气里。动物吃植物，吸进空气里的氧气，氧化碳水化合物，或者把它们作为燃料，为动物提供能量。最后，动物代谢的产物——二氧化碳、水，以及其他废物返回大气和地球。这个循环是永无休止地在重复着的。（参见：**碳水化合物**）

除了广泛分布的以化合物的形式存在的碳以外，这种元素的二种同素异形体——金刚石和石墨，也广泛地沉积在地球各个地方。第三种同素异形体富勒烯比起那两种同素异形体来是不稳定的，因此不是到处都能见到的。

一颗金刚石，不论大小，可以看做是碳原子组成的单个分子。每个碳原子与另外 4 个碳原子结合成为正四面体或者三角梭晶。这个晶体结构称为面心立方格子。金刚石极其坚硬而又很脆，密度高达 3.51。它对光的折射率高达 2.42，金刚石因此光彩耀眼，熠熠生辉。

金刚石可以沿着晶面切割成小块，切割面仍保持光洁。这种性质对切割金刚石的工人和宝石匠说来是非常重要的。



碳循环是一条复杂的途径，碳顺着这条途径，通过大气、海洋和土壤，通过植物和动物，通过化石燃料的形成和利用而循环。

碳的性质

符号	C	20°时的相对密度	1.88—3.53
原子序数	6	沸点	4 827℃
原子量	12.011	熔点	3 550℃
周期表族类	IVA		

碳的第二种同素异形体是石墨。古代的人就知道石墨。它曾经被称为黑铅、银铅和笔铅，其实那些是方铅矿的又一种名称。它的最大的沉积在斯里兰卡，但是质量最好的石墨来自马达加斯加。其他如朝鲜、墨西哥、加拿大、西伯利亚以及纽约州都产石墨。与金刚石不同，石墨是碳原子以强键结合成的正六边形的片层结构。各层之间是由一种称为范德瓦耳斯力的长距离的、相对较弱的吸引力连接在一起的。各层之间可以互相滑动，这是造成石墨润滑性质的原因之一。

无定形碳是微观晶体组成的一种石墨类型，所以一般不把它称为碳的第三种同素异形体。任何含碳量大的物质在空气非常之少，不会发生完全燃烧的情况下加热到650～980℃，都可以产生无定形碳。例如，煤加热后可以产生焦炭；天然气或者石油可以产生炭黑（亦称灯黑、槽法炭黑）；木头可以产生木炭，骨头可以产生骨炭；石油焦炭或者煤可以产生炭精电极。

1785年，人们发现从木材和木炭碳化得到的活性碳能消除溶液的颜色，例如粗制糖溶液的棕色。活性碳至今仍用于甜菜糖制造业。蔗糖制造业也总爱用骨炭脱色。其他食品包括白醋、汤料、威士忌、明胶以及油和脂肪通常都用活性碳脱色。活性碳也用来吸收化学战争中使用的有毒气体，吸收有机蒸汽，以及回收溶剂。所有这些用途都是依靠粉碎的碳的巨大的表面积对杂质的吸附完成的。

大量炭黑用于轮胎的制造。它能改进橡胶的强度和抗磨性。此外，炭黑还用于制造报纸刊物用的印刷油墨以及涂料、油漆、瓷漆和复写纸。

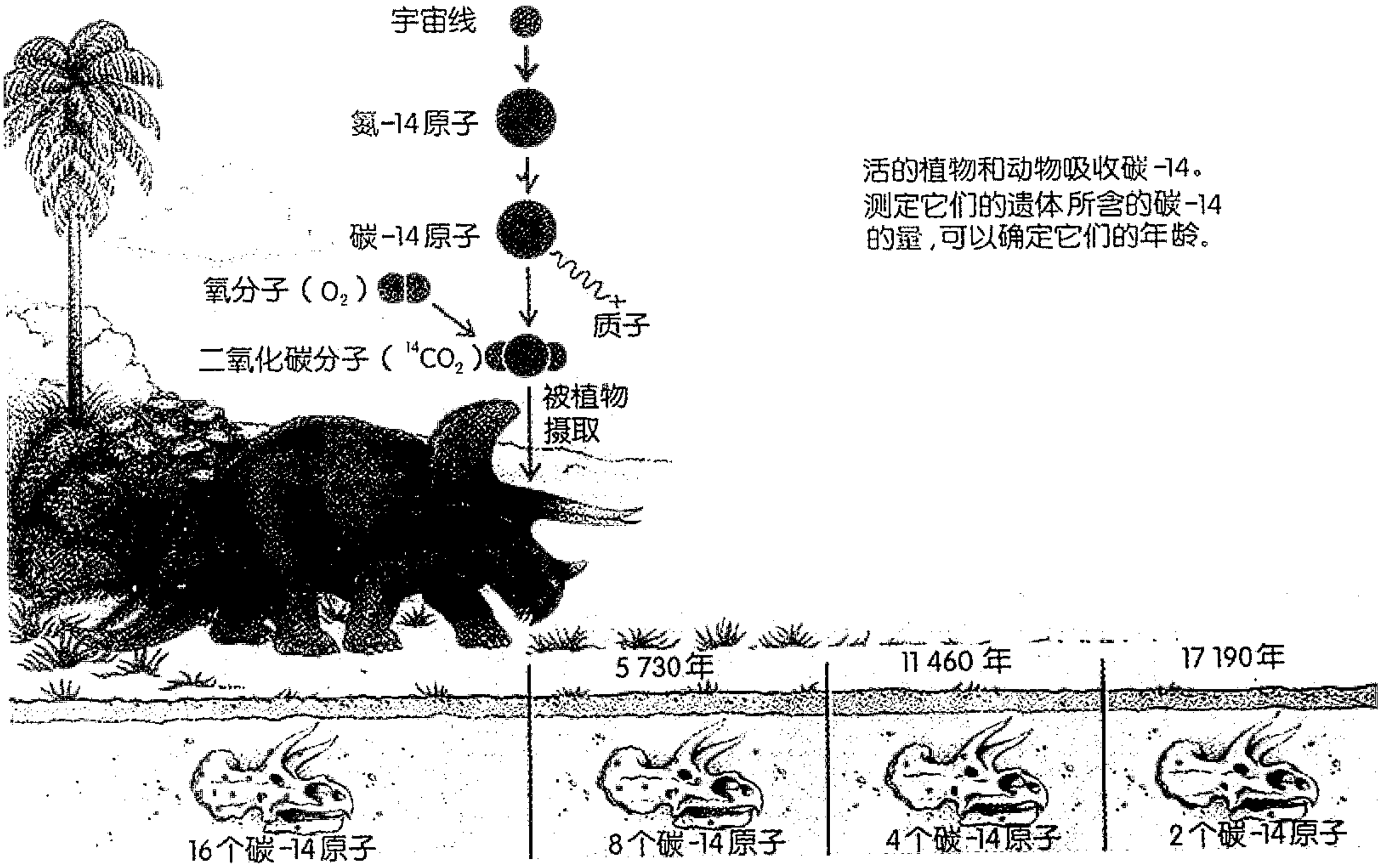
富勒烯是像建筑师 R. 巴克敏斯特·富勒制造的测地拱顶那样的中间空的一簇碳原子。最初是1985年有人假设有这样的物质。1990年证实了它的存在，并且发明了大量合成的方法。研究得最多的一种类型是巴克敏斯特富勒烯，或者说足球烯。它含60个碳原子，一般称碳$_{60}$，排列成五边的和六边的几何形状，像一个足球。它适宜于用作润滑剂、超导体、放射防护屏、硬质涂料、电池组和球轴承。科学家通过实验得出结论，说是富勒烯存在于星际空间，以及地球上某些气体燃烧产生的烟灰里。1992年在形成于早于6亿年以前的岩石沉积物里首次发现富勒烯。因为它暴露在空气中的时候是不稳定的，所以没有发现大量的天然富勒烯。

含碳化合物是用可以从自然界中得到的碳化合物来合成的。起始化合物的来源，对脂族烃（碳和氢的直链分子）说来是石油；对芳香烃（碳和氢的环）说来是煤或者石油。石灰石可以制成含碳的碳化钙和乙炔，因此它对于没有天然石油的国家的化学工业说来是非常重要的。

含有硼和硅的碳化合物，属于已知的最坚硬的物质之列。在称为莫氏硬度的标准化硬度里，金刚石是10；SiC，碳化硅（或称金刚砂）是9.15；B_4C，碳化硼是9.32。这些碳化物用来作为金刚砂轮的磨料。它们在化学上是惰性的，差不多是不会毁损的。相反，许多金属元素例如铁、钴、镍形成的碳化物容易被酸分解产生碳氢化合物，主要是甲烷以及氢。（参见：**二氧化碳；一氧化碳；石灰岩；有机化学**）

一个普通的碳原子的核里有6个质子和6个中子，所以这个碳原子称为C-12，碳的另外一个同位素，原子核里有6个质子，7个中子，称为碳-13，或者C-13。C-12和C-13在自然界中的相对丰度分别是98.89%和1.11%。不过来自宇宙线的迅速飞行的中子总在轰击氮原子（有7个质子和7个中子的N-14）。每次中子轰击的时候，它把一个质子逐出氮原子的核，自己占据它的位置。这个原子现在有6个质子，它成了一个碳原子。不过它的核里有14个粒子（6个质子和8个中子），所以称它是C-14（碳-14）。

碳-14的产生和摄取



碳-14放射性地衰变着。它的生成和衰变是平衡的，在二氧化碳里C-12和C-14之间的比率因此总是保持不变的。因为这两种碳在化学上是相同的，植物利用它们进行光合作用的时候它们之间的比率也没有改变。又因为动物吃植物，所以一切生物里也是这个比率。

但是化石、木乃伊、木质的残遗体不再与空气交换碳。它们的C-12保持不变，而C-14却进行着放射性衰变，它与C-12的比率越来越小。利用盖革计数器或者闪烁计数器可以容易地测定这个改变了的比率，而改变的大小说明了样品的年龄。例如，如果一个样品C-14的百分比只是空气中C-14的一半。因为C-14的半衰期约为5 730年，这个样品必定是这个年龄。（参见：**放射性**）

放射性碳-13被用来作为许多化学反应的示踪物。例如化学家可以把它引入食物，然后用一种特殊类型的盖革计数器或者闪烁计数器追踪食物在人体中的行进途径。这个方法已经被用来探索光合作用的各个步骤。

撰文：Leallyn B. Clapp

一氧化碳 CARBON MONOXIDE

无色、无味有毒气体。当含碳燃料在缺氧条件下燃烧即产生一氧化碳，燃料在过高温度下燃烧也会生成一氧化碳。工业用一氧化碳是由空气通入红热煤或焦炭层制备。它在空气或氧中燃烧生成蓝色火焰。一氧化碳的化学式为CO。

吸入一氧化碳有毒，因为它能与红血球中载氧物质-血红蛋白结合，使血红蛋白不能从空气中吸取氧气。人体缺少氧就会引起细胞和组织死亡。

一氧化碳没有气味，因此特别危险。汽油机的废气经常含有一些一氧化碳。所以汽车、割草机和类似机器不应在密闭、不通风的空间操作。由于通风不良，每年因火炉和炉子排出的一氧化碳造成许多人死亡。每年因汽车排气管出故障，使废气进入乘客车厢，也造成许多人死亡。

除了有毒以外，一氧化碳是一种非常有用的工业化学品，因为它很容易与其他物质化合。它与氧生成二氧化碳，它也非常容易与铁族成员生成镍和铁的羰基化合物，它们可用于制备极纯金属和在许多化学反应中用作催化剂。（参见：**催化剂**）

在热或光的影响下，一氧化碳与氯（Cl_2）反应生成光气（$COCl_2$），一种极毒气体，在有限和不通风的空间燃烧塑料和其他合成材料也经常产生光气。一氧化碳也能与氢结合生成醇，许多甲醇或木醇就是用这个反应制备的。

二氧化碳 CARBON DIOXIDE

无色气体，有微弱刺鼻气味和微酸味。每个二氧化碳分子含有一个碳原子和两个氧原子。化学式CO_2。

空气中约含0.03%的二氧化碳。植物和动物依靠这些微量的气体维持生命。绿色植物用它制造养料，它们将二氧化碳和水靠光合作用制成糖，植物又从糖制造淀粉和纤维素。动物从植物食物中汲取能量，产生的二氧化碳通过呼吸回到空气。空气中的气体又重新进入光合作用。

二氧化碳除由呼吸系统产生外，一些含碳材料如木

头、煤和石油产品在充足的氧气中燃烧时也能产生二氧化碳。如果在加热区供氧不足，有些碳原子只能与一个氧原子化合生成一氧化碳（CO），一种有毒气体。（见：**一氧化碳**）

二氧化碳气体溶于水生成碳酸（$CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3$）。当这种弱酸与某些物质反应，生成的产物叫碳酸盐。碳酸氢钠（$NaHCO_3$）或小苏打是一种重要的碳酸盐。

碳酸盐与酸反应释出二氧化碳，与盐酸（HCl）的反应就是其中之一：

$$NaHCO_3 + HCl \longrightarrow NaCl + CO_2 + H_2O$$

在制造饼干和其他烘烤制品中，小苏打或小苏打和酸奶中的酸就发生这种反应。产生的二氧化碳气体和它的膨胀使面团发酵。

普通的软饮料是由水与香料和在压力下溶入的二氧化碳组成的。当打开含有压力的密闭罐头盖子，气体就冒出。有些灭火器也是由二氧化碳压缩气体充填，其他种灭火器可由化学药品产生气体。

氟碳化合物 FLUOROCARBON

严格地说，氟碳化合物是只含氟和碳两种元素的化合物。然而，照惯例，这个术语也包括许多其他有各种别的元素（最常见的为氢和氯）的化合物。

大约1930年，人们发现一些氟碳化合物具有成为优良制冷剂的性质。这些最初以商品名称氟里昂出售的化合物是首批制造出来的氟碳化合物。因为许多氟碳化合物还含有氯，有时它们也称作含氯氟烃或 ClFCs。

氟里昂化合物为无色气体，当被冷却或压缩时易于变成液体。它们近于无味，它们无毒，它们不会燃烧，并且它们不会损害其他物质。冰箱制造者和空调器制造者很快即开始用它们代替有毒、有腐蚀性并具有很强烈气味的二氧化硫和氨。

几个用做制冷剂的 ClFCs 也用做气溶胶推进剂，这是一些迫使里面的东西从喷射罐中喷射出来的气体（见：**气溶胶**）。1973年以后，由于担心氟碳化合物会破坏地球大气的臭氧层，因而减少了它们的使用量。

麻醉剂卤乙烷是一种氟碳化合物，如同用于灭火器中的两种化合物。所有这些物质较之过去用于同样目的其他物质的毒性较小。

某些氟碳化合物可以通过化学作用转变成一些制作塑料的原料。氟碳化合物塑料是非常不易磨损的物质，是优良的电绝缘体。它们不会燃烧，溶剂或其他化学药品不与它们起作用，而且它们不会受到昆虫或细菌的侵袭。称作特氟隆、聚三氟氯乙烯和氟橡胶的物质都是氟碳化合物的高分子产品。

硅 SILICON

非金属元素。是地壳中含量占第2位的最丰富元素，约占地壳总重量的26%。它以化合物的形式存在于硅石（二氧化硅）、硅酸盐岩石和矿物中。硅石的最普通形式是石英，包括砂子和燧石。硅酸盐是硅石与氧和其他元素，如铝、镁、钙、钠、铁、钾等化合的盐类。

硅有强亲氧性，破坏这种结合就能得到纯硅。工业上硅是用碳类物质例如焦炭在电炉中还原（去除氧）硅的氧化物制得。有些硅是用铝还原二氧化硅制得。无定形硅是一种深棕色结晶粉末，可在实验室中用镁粉与硅石共热制得。

硅的性质

符号……Si	相对密度（25°C）……2.33
原子序数……14	沸点……2 355°C
原子量……28.0855	熔点……1 410°C
周期表族类……IVA	

纯硅是一种质硬的深灰色固体，具有金属光泽。其晶体结构与碳的金刚石相同，很多物理和化学性质也相同。元素硅用途不多，在冶金中用作还原剂，在钢、黄铜和青铜中用作合金元素。

高纯硅是一种不良电导体，如果用其他原子掺入或处理，就能释放电子增加电导率。用这种方法生产的硅大量用于晶体管、集成电路、光电器件和其他电子部件中。微小的硅集成电路块能做成包含所有部件的既复杂又紧凑的电子线路，像卫星、航天器和电子计算机所用的那样。由于硅在微信息处理机方面的重要性，加利福尼亚著名的电子计算机技术地区叫硅谷（参见：**晶体；半导体**）。高纯度硅也用于制造硅酮，一类像树脂的合成材料。

硅气凝胶是透明多孔物质，由硅、氧原子键合的微球所连成的许多长束组成。这些长束被分割成无数含有空气的空间。气凝胶虽是固体，但比重异常低，几乎像几缕凝固的烟气。它们是已知固体中最轻的一种，也是已测定固体中最不传热的，因此被广泛用于高效绝缘体和辐射探测器。

锡 TIN

广泛用做钢的保护涂层。因为锡耐腐蚀，每年要用镀锡钢板制成数十亿个罐头。但在许多食物容器中塑料镀层已取代锡，铝在制造罐头中的使用也日益增长，锡的用量已大大下降。

锡的性质

符号……Sn	相对密度（20°C）…5.75－7.31
原子序数……50	沸点……2 270°C
原子量……118.69	熔点……232°C
周期表族类……IVA	

锡的保护涂层可以薄到0.000038厘米。罐头用钢镀锡是把薄板放入熔融的锡，或由高速橡皮辊筒将带材不断通过电镀锡槽。厨房用品用较厚的电镀锡层（见：**电化学**）。屋顶用镀铅铁板是将薄钢板浸入熔融的铅、锡混合物制成。

锡是低熔点合金材料的组分，如青铜、巴氏合金、活字金属和焊接金属（见：**合金**）。锡合金用于可挤压的管子，可是现售的牙膏已用塑料容器。氯化锡可用于丝绸染色和加重，以及作香料的稳定剂。锡能与碳键合生成500多种有机锡化合物。这种化合物有些已用于制造木材、纸张、油

漆、纺织产品、农用喷雾器和医院消毒剂。

锡主要存在于锡石矿、锡的二氧化物。锡石在熔炼前，先将矿物碾成粉末，煅烧除去砷和硫。然后在熔炉中将矿石与炭一起加热，把锡与矿中所含的锌、铜、铋和铁分开。锡也用电解法精炼。精炼的产物叫锡锭。

20 世纪 90 年代早期，中国的锡矿产量居世界首位，其后是巴西、印度尼西亚、马来西亚和玻利维亚。1985 年 10 月，世界市场锡价格暴跌，因为怕锡价格的下跌会引起其他金属价格的不断下跌，这种金属的贸易暂停。几年来，国际锡联合体(ITC)，一个卡特尔，在世界需求量下降时一直人为地支持锡的高价格。

在主要锡生产国继续控制出口的同时，有些不属于卡特尔的其他国家继续生产和销售锡。像美国这样的使用国有巨大的锡库存。因为锡的使用已部分由其他金属和塑料所取代，联合体看起来未必能重新建立对销售的控制。继 1985 年 ITC 暂停出口控制后，1987 年一个补充组织，锡生产国联盟重新制定限额，像巴西和中国那样的非成员国也同意遵守这个限额。

美国是世界最大的锡使用国，但没有较大的矿藏。阿拉斯加的砂积矿床有少量的锡精矿。第二个主要来源是锡废料，它可在脱锡工厂回收锡。美国进口锡大部分来自巴西、玻利维亚、中国和印度尼西亚。

在人类文化的青铜时代就用锡与铜合铸青铜。腓尼基人为了得到锡，从地中海的家乡远航至不列颠诸岛。

铅 LEAD

像铅那样有如此多的各种用途的金属不多。早在古代，人们就使用铅装饰品和铅币。罗马人将铅作水管和焊料。在中世纪，一种铅带，叫有槽铅条，已首先用于拼合窗户的彩色玻璃件。

在美国，铅产量的约 $\frac{2}{3}$ 用于汽车蓄电池。大量铅用于电缆的防护包皮，油漆和颜料中含有铅化合物。因为铅有毒，许多小孩因吃了含铅的干漆剥落片而中毒，现在油漆中的用铅量已逐渐减少。铅制成子弹和炮弹使火药在火器中生效。铅是焊料的主要成分，用于金属焊接。

铅是普通金属中最重和最软的。耐空气和水，也耐许多强化学品，常用于保护电缆或做化学反应大容器衬里。用铅做的屏蔽能吸收辐射，可防止人们受 X 射线、γ 射线和放射性物质的侵害。因此铅已用做核反应堆和粒子加速器的防护罩。

安全插头和发动机轴承只是用含铅合金制造的多种产品中的两种。有些铅合金握在手中就会熔化成液体。

有用的铅化合物包括一氧化铅或铅黄。这种物质是色彩鲜明有光泽的燧石玻璃或晶体的主要部分，可做瓶、碗、饮用玻璃杯和镜片。另一种铅的氧化物叫铅丹或红铅，可做铁或钢的防锈漆。碱式碳酸铅(白)和铬酸铅(黄)是油漆中的颜料。叠氮化铅容易被电热线引爆，常用于起动其他炸药的爆炸雷管。

铅的最丰富矿藏或来源是方铅矿或硫化铅，化学式为 PbS。其他重要的矿是白铅矿(碳酸铅，$PbCO_3$)和铅矾(硫酸铅，$PbSO_4$)。大部分铅矿含锌，许多矿还含金、银或其他金属。

铅的性质

符号	Pb	颜色	蓝白色
原子序数	82	相对密度(20℃)	11.35
原子量	207.2	沸点	1 774℃
周期表族类	IVA	熔点	327.5℃

先将矿石研成粉末，用浮选法使含有金属的材料与岩石分离。即将矿石与水、某些油类和化学品混合，将空气从混合容器底部吹入，油把含铅颗粒弄湿，附着在空气气泡上，浮向表面；叫做脉石的废料被水弄湿沉于底部，然后丢弃。

精矿在空气中焙烧，使硫化铅变成氧化铅，在此过程中硫以二氧化硫气体的形式释出，能回收用于制造硫酸。将粗氧化铅与焦炭和硅石或石灰助熔剂在高炉或平炉中熔炼，铅金属沉到底部，原矿中带来的一些金或银也溶解或随它沉降。大部分其他金属与硅石或石灰结合形成炉渣浮到顶部。从表面撇去浮渣，其中所含金属用其他处理方法回收。纯化金属铅、金和银由另一种方法回收。

世界上每年铅的开采量约为 320 万吨。美国产量占第 2 位，约为已知产量的 15%，大部分在密苏里州开采。其他产矿国家是澳大利亚、加拿大、中国和秘鲁。

世界每年约生产 550 万吨精炼铅。旧的铅产物特别是蓄电池都可循环使用，这是开采铅的数量与精炼数量有很大差别的原因。美国精炼铅占首位，其他主要精炼国家为：德国、日本、英国、法国和中国。美国约消耗 23%的世界精铅量。

通常铅是质量数为 204、206、207 和 208 4 种稳定同位素或形式的混合物。还有质量数在 194 以上的 20 多种其他铅同位素，都有放射性，它们是铀、钍和锕等元素的衰变产物。(参见：**化学；放射性**)

铅的所有化合物都有毒，身体中即使积累很少剂量，也会引起腹痛、肾病、麻痹、贫血和脑损害。如果体内积累的铅量超过一定数量，其毒性可致命。

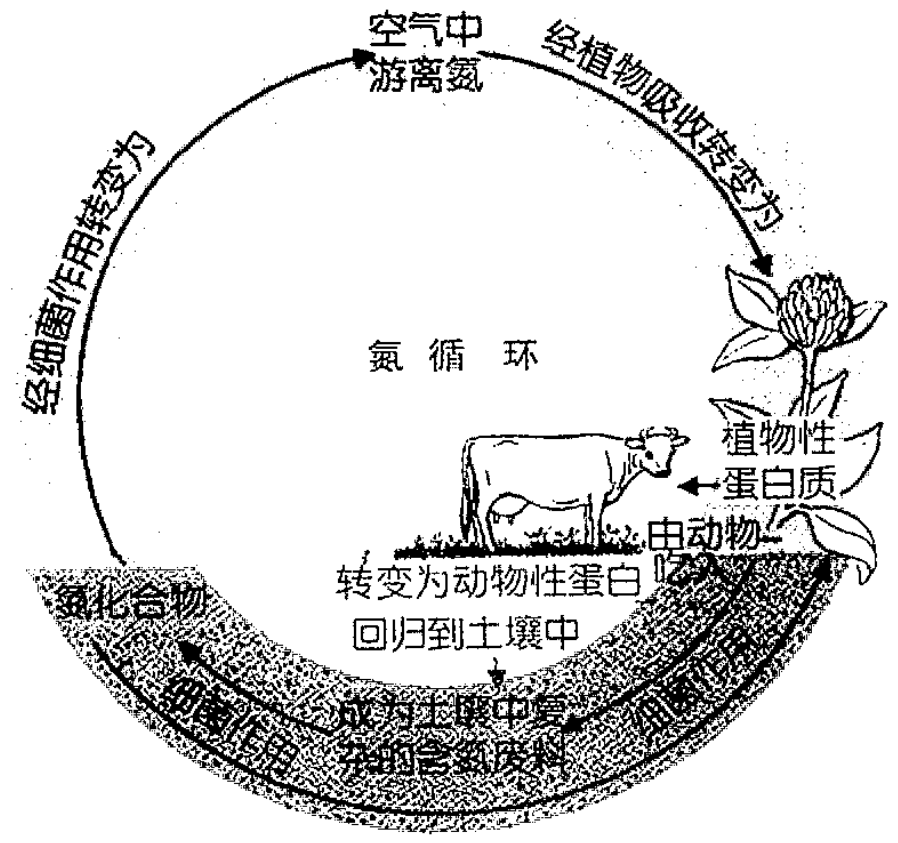
氮 NITROGEN

在大气中惰性的气体氮约占空气的 $\frac{2}{3}$。从肺里呼出的氮气在化学上并无变化。大部分氮以游离元素存在于大气中。氮化合物非常活泼，是所有活物质的基本成分。

活细胞在形成原生质时需要氮。生命必需的蛋白质是由氮的化合物连接组成的。氮除了在空气中以游离状态存在外，必须以化合物的形式被活物质利用。氮与其他元素结合的过程叫固氮作用。

氮的天然固定和氮循环

自然界的固氮作用是由闪电和细菌引起的。闪电的闪光使氮与氧结合形成氧化氮(NO)，冷却后变成二氧化氮(NO_2)，二氧化氮与水化合生成硝酸(HNO_3)。稀酸下落到地面，与土壤中的矿物质反应生成硝酸盐。这种硝酸盐又变成对细胞生长必需的许多化合物。大量的氮是由土壤中的细菌和植物根的作用固定的。



氮被细菌作用而固定，流入土壤，进入植物组织，或进入植物后又入动物组织。回到大气，循环重新开始。

能固氮的细菌有：巴斯德氏梭菌属和固氮菌属、根瘤菌属的一种。豆科植物的根部含有固氮的细菌。它们固定的氮除供给植物本身外，富余部分就贮存在根部，当植物死后又转入土壤。土壤和植物细菌将空气中的游离氮固定，然后与氢生成形成蛋白质的化合物。

活组织中的氮能够重复循环使用。如果一种植物或动物死了，腐烂的细菌破坏蛋白质，氮即以氨(NH_3)的形式释出，其中部分进入空气，剩余部分由另一种细菌把氨变成亚硝酸盐，又有另一种细菌将亚硝酸盐变成硝酸盐，植物又将它变成蛋白质。担任这种生命活动的细菌叫硝化细菌。反硝化细菌能产生相反的结果，它们在腐败过程中与蛋白质起作用，将氮气释放到大气中。部分氮由于硝化细菌的作用而不断流失。大气和土壤中的氮循环在上面附图中已有介绍。

氮的人工固定

植物死亡时能将氮返回土壤，但当谷物被收割移走，氮就不能返回土壤，因此土壤必须定期补充氮化合物，即氮肥。常用硝酸钠、硫酸铵和动物的排泄物为土壤补充氮。

天然过程不能产生足够数量的这种氮化合物。化学家发明了几种将氮变成有用氮化合物的方法。哈伯-博施法将氮和氢在极大的压力并在铁催化剂作用下反应生成氨，这是工业上应用最广泛的氮固定方法。卡萨尔法和克劳德法都是哈伯-博施法的变种。

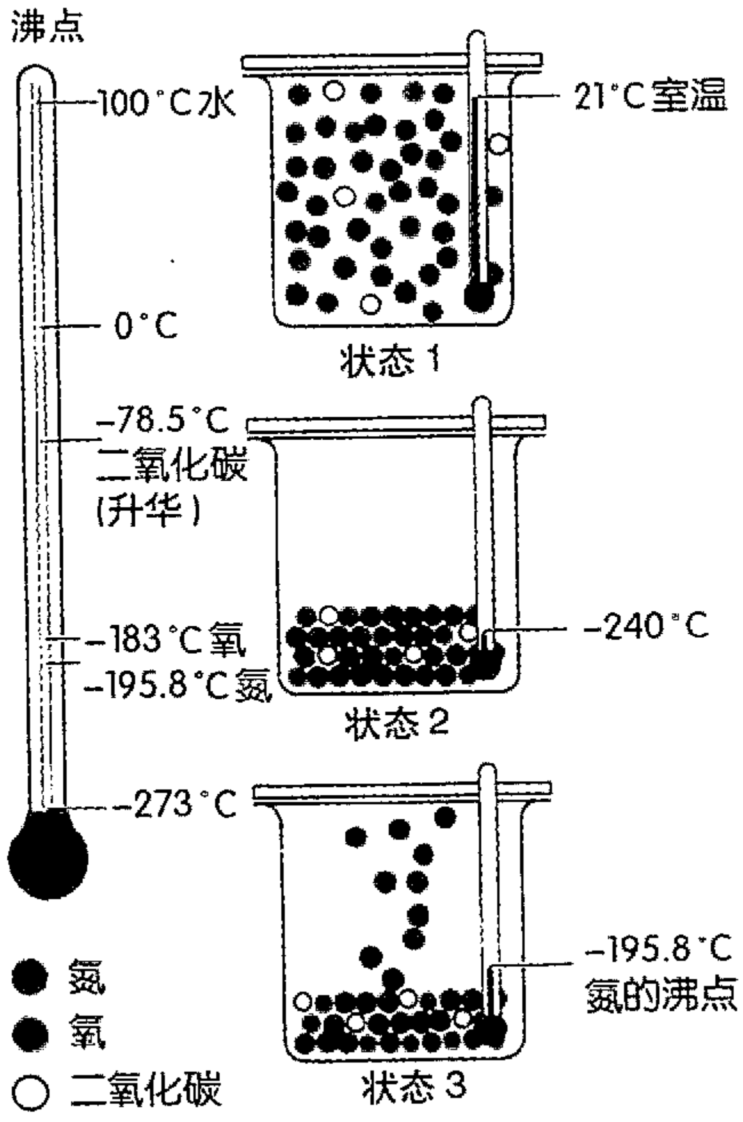
第二种重要方法是电弧法。在此法中，将空气吹入电炉，氮和氧结合生成过氧化氮，然后将它通过水的喷雾生成硝酸。这种方法需要大量的低价电能。氰腈法是将氮通过热的碳化钙(CaC_2)，生成氰氨化钙($CaCN_2$)，这种化合物可以直接用做肥料或转化成氨。

氮化学

氮在1772年由英国化学家D.卢瑟福首先发现。氮在常温下为无色气体，原子量14.0067，液化点－195.8°C，凝固点－209.9°C，氮的化合价为1到5，这种结合法可由它与二价氧的化合物表示：它能生成氧化亚氮(N_2O)、氧化氮(NO)、三氧化二氮(N_2O_3)、二氧化氮(NO_2)和五氧化二氮(N_2O_5)。氮在化合物中的常见化合价为3或5。

氮化合物

最熟悉的两个氮化合物是硝酸(见：硝酸)和氨(一种碱)。学生在化学课中经常使用这些反应物。氮与金属元素如镁形成二氮化三镁(Mg_3N_2)。氮化物与水反应产生氨。碳与氮结合成基团(－CN)叫氰基。氰基与氢、钾或钠结合生成氰化物。这些化合物有毒，但有重要工业用途。



空气是由氮、氧和二氧化碳等气体组成的，还有少量其他气体，如氩、氖、氦、甲烷、氪、氢、氙和臭氧。从空气中制备纯氮，首先将气体混合物(状态1)冷冻至－240°C变成液态(状态2)。然后将液体温度缓慢升至－195.8°C，氮以气体形式(状态3)释出并被收集。其他组分变成气体释出的温度为：液态氧－183°C；二氧化碳－78.5°C。在低于这个温度时二氧化碳是固体，高于这个温度时开始升华，即固体直接气化。

氮的化学性质不太活泼，形成化合物很慢。大部分氮化合物不稳定，许多化合物在分裂或分解时伴随猛烈爆炸，这个特性说明为什么许多普通炸药是氮化合物。氮化合物肼(联胺)是一种效力最高的燃料，它是氮氢化合物，与碳氢化合物类似。

氮的最重要有机化合物是蛋白质，它是由氨基酸组成的复杂分子，氨基(－NH_2)是基本结构单元。含氮的苯胺类染料对含有蛋白质的丝、毛织品有特别的亲合性。大部分照相显影剂含有氮。咖啡碱、奎宁和吗啡等药品都是有

用的氮化合物。(见:**化学**)

氮的性质

符号……………………N	相对密度(-195.8°C)…0.808
原子序数……………7	沸点……………………-195.8°C
原子量………14.0067	熔点……………………-209.86°C
周期表族类………VA	

硝酸 NITRIC ACID

一种强酸,化学式 HNO_3。为无色、有毒、腐蚀性很强的液体,能引起严重的烧伤。用于制造塑料、染料、肥料和炸药,也用做科学实验的反应物。

硝酸溶于水形成氢离子和硝酸根离子(NO_3^-)。它是由硝酸钠($NaNO_3$)或智利硝石与硫酸(H_2SO_4)加热制得。反应式如下:

$$3NaNO_3+2H_2SO_4 \longrightarrow 3HNO_3+Na_2SO_4+NaHSO_4$$

硝酸也可由氨(NH_3)的催化氧化来制备。在此反应中,氨首先氧化成氧化氮,继续氧化生成二氧化氮(NO_2)气体,将这种气体溶于水即生成硝酸(HNO_3),反应式为:

$$2NO_2+H_2O \longrightarrow HNO_3+HNO_2$$

工业上生产的硝酸含有50%-70%酸,其余是水。

硝酸盐有硝酸钠、硝酸钾或硝石。硝化甘油和三硝基甲苯(TNT)炸药是由甘油、甲苯和硝酸发生硝化作用制得。硝酸用氨中和可制得肥料组分硝酸铵。硝酸沸点为83°C,凝固点为-42°C。

磷 PHOSPHORUS

1669年由德国炼金术士H.布兰德发现。元素英文名来自希腊文 phosphoros,原意是"发光物",因为它在黑暗和潮湿空气中能发出暗淡白光。

早期,科学家们认为磷可能是萤火虫和其他一些生物发光的来源。其实萤火虫的光和许多矿物发的光只是与磷光相似。因此所有这种光通称磷光。

磷通常为无色、半透明和柔软的蜡状固体,在空气中会自燃,发出白色的浓烟。磷化学性质活泼,在自然界从未发现游离态存在。磷以化合物形式广泛分布于地壳中许多矿物、岩石、植物和动物中。常见含磷矿有磷灰石、银星石和蓝铁矿。主要产源磷灰岩或磷酸盐岩石是一种不纯的磷灰石。

磷是动植物生存的必需元素。它是人类和其他许多动物牙齿和骨骼的重要组分,也是所有活生物体细胞的组分之一,并参与细胞的能量贮存和使用。磷也广泛用做肥料。

种类和用途

磷是一种非金属,约有10种同素异形体,它们可分为白(或黄)磷、红磷和黑(或紫)磷三大类。

白磷化学性质最活泼。它的工业制法为:连续不断地将磷酸盐岩石、焦炭和砂(或硅粒)装入电炉,加热至上述原料通过化学反应转化为磷蒸气、一氧化碳气体和硅酸钙炉渣,然后将炉气冷却,使磷冷凝成液态,最后凝固成固体,并保存于水下以防止自燃。

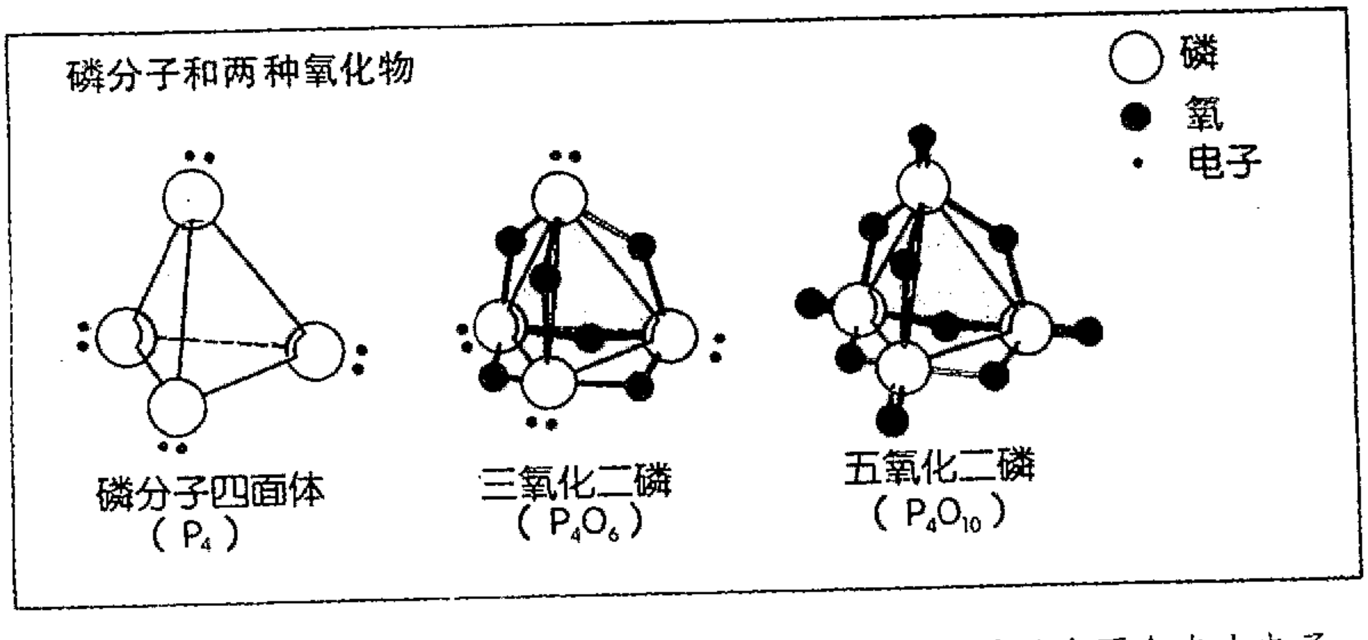
白磷能与大部分元素直接化合,即使在低温下也能与氧化合。这种缓慢的氧化能产生白色的真正磷光。由于摩擦产生的热能使白磷燃烧,它曾一度用做火柴的摩擦面,后因有剧毒,能使火柴工人很快患骨骼病,不久在火柴中被淘汰。

白磷在阳光下或受热可转变成既无磷光又不自燃的红磷。红磷无毒,与其他物质混合用于制造安全火柴的摩擦面。黑磷可由白磷在高压下转变而成,它的化学活性最小。

磷几乎全部以化合物形式使用。磷化氢或膦在固态电子元件中用作掺杂剂。磷大量用于制备磷酸和其他化合物。由磷酸盐岩石制成的过磷酸钙广泛用做磷酸盐肥料。一些高毒性磷化合物用做杀虫剂。磷的有毒有机衍生物已在化学战争中用作神经毒气。

氧化物、酸和盐类

磷属于氮族元素,这说明它的化学活性由最外层电子层的5个电子确定(见:**化学;周期表**)。磷分子 P_4 是由4个磷原子组成,每个原子与相邻原子共有一个电子,使每个磷原子还剩下两个自由电子可与其他键结合形成磷化合物。



磷分子(左图)由位于四面体角上的4个原子组成,每个原子有两个自由电子。在三氧化二磷分子(中图)中,每一对磷原子间插入一个氧原子,每个磷原子仍有两个自由电子。如果这些电子与另一组氧原子结合即形成五氧化二磷(右图)。

在商业上用途最广的磷化合物中有氧化物和酸。在氧化物 P_4O_6 中，磷分子的每一对磷原子之间只有一个氧原子。如果磷原子与另一个氧原子形成一个双键(每个原子用两个电子)，则每个分子增加 4 个氧原子，则生成另一种氧化物 P_4O_{10}，这种氧化物叫五氧化二磷或氧化磷(V)。另外一些化学反应可制备其他一些化合物，如正磷酸(H_3PO_4)，常称磷酸；五氯化磷(PCl_5)和焦磷酸($H_4P_2O_7$)。

磷酸与一些碱金属化合生成的盐叫磷酸盐。例如钠(Na)和钙(Ca)能置换酸分子中一个或更多的氢原子。

生物化学中的磷酸盐

腺苷三磷酸(ATP)能为每个动植物提供构成组织、传递全身过程和进行活动所需的化学能。ATP 是一种核苷酸，由腺嘌呤(蛋白质、脱氧核糖核酸 DNA 和核糖核酸 RNA 中的一种氨基酸)、核糖(RNA 中的糖)和三个连接磷酸脂基组成。连接三个磷酸酯基的两个化学键叫高能键，当一个键断裂就能为动植物提供相当数量的能量。ATP 在断裂一个键时释出一个磷酸酯基团变成 ADP(腺苷二磷酸)，过程中释放的能量能用于制造生物体生命活动中所需的蛋白质和酶。在另一系列生物化学反应中，一个磷酸酯基和 ADP 又能结合生成 ATP。在 ATP 中贮存的能量在其他生物化学反应中又能变成有用的动力。

磷的性质

符号……………………P	相对密度(4°C)(白磷)…1.82
原子序数 …………15	沸点(白磷)……………280°C
原子量………30.9738	熔点(白磷) ………… 44.1°C
周期表族类………VA	

砷 ARSENIC

半金属元素。有剧毒，人类常用它制备消灭细菌和害虫的化学药品。

医生用砷的化学衍生物治疗一些热带疾病。一种叫做“606”、洒尔佛散或胂凡纳明的砷制剂是历史上最早用于杀死梅毒细菌的药物。砷化合物中已用于杀灭害虫的是巴黎绿(砷与铜、氢和氧的复杂化合物)。制造商从“白砷”或三氧化二砷生产含砷的药物、杀虫剂和类似制剂。白砷也能去除玻璃的颜色。

合金中加入少量比例的砷可使它们易碎和降低熔点。在熔融的铅中加砷可推迟硬化时间，以利于制成完全球形的铅子弹。在铅基轴承合金中加砷可改进耐用性，特别在高温下。在铜合金中，砷可提高耐腐蚀性。

砷位于金属和非金属的交界线(见：**化学**)。化学符号 As。在自然界主要与其他矿物结合存在。普通化合物有毒砂或砷黄铁矿(FeSAs)、低砷铁矿(FeAs)、雄黄(As_2S_2)和雌黄或三硫化二砷(As_2S_3)。砷化合物往往附生于金属矿中，世界上大部分白砷是从熔炼铅和铜矿的副产品中回收。生产似金属砷的常用方法是将砷黄铁矿或低砷铁矿在隔绝空气中升华。

结晶状的砷非常脆。刚切割时为银灰色，但在空气中变为黄色，然后变为黑色。燃烧时发出一种像大蒜气味的蒸气。元素不溶于水、酸和酒精。能与氧、卤素和硫迅速发生反应。

砷的性质

符号……………………As	相对密度(0°C)…… 5.73
原子序数………………33	沸点……………… 615°C
原子量 ………… 74.9216	熔点……………… 814°C
周期表族类………… VA	

氧 OXYGEN

地球上最丰富的元素。化学符号 O。它是维持行星上生命过程不可缺少的元素。在低层大气中，空气中的氧(O_2)供给人们呼吸；而在高层大气中，臭氧(O_3)保护地球表面，防止太阳的有害紫外线照射。臭氧为淡蓝色气体，会爆炸，即使在低浓度时也有毒。

人体的 $\frac{2}{3}$，江湖大海水的 $\frac{9}{10}$(以重量计)由氧组成。它与其他化学元素化合成许多化合物，几乎是地壳中岩石和砂石重量的一半。游离态的氧为无色、无臭、无味气体，在 −183°C 以下变成淡蓝色液体，在 −218°C 变为固体。

氧的化学性质非常活泼，几乎能与所有其他元素化合，也就是说这些元素被氧化。有时加热能加速这种化学反应，例如木材燃烧。燃烧只是加速氧化，空气中的氧与木材中的氢和碳化合生成水(H_2O)和看不见的气体二氧化碳(CO_2)。

氧的性质

符号……………………O	相对密度(20°C)……1.429
原子序数…………… 8	沸点……………… −183.0°C
原子量……… 15.9994	熔点……………… −218.4°C
周期表族类………VIA	

1775－1777 年，法国化学家 A. 拉瓦锡首先确认氧为一种元素，并定名为氧。他认为木材在空气中的燃烧过程为氧化作用，他也确认铁锈是氧与金属化合的产品(见：**拉瓦锡**)。不久瑞典化学家 C. W. 舍勒和英国化学家 J. 普里斯特分别在各自的研究中发现氧。

几乎所有的动植物都需要呼吸氧气，即使鱼也依靠溶入水中的氧呼吸。身体组织中的碳氢化合物也像燃烧木材一样不断被氧化，它们与空气中的氧化合，生成二氧化碳和水。这种氧化过程能产生足够热量以维持一些动物的体温。在阳光下，绿色植物从空气中吸取二氧化碳，将碳用于光合作用，放出氧气。这种从氧变成二氧化碳(通过呼吸)和又放回氧气(通过光合作用)的过程叫氧循环。

氧原子有三种天然原子形式或同位素，氧-16 是最轻、含量最丰富的同位素，在原子核中有 8 个质子和 8 个中子。约在 1900 年到 1961 年，氧-16 一直是原子量的标准。(参见：**化学**)

硫 SULFUR

在美国和所有其他工业国家，硫是一种重要的原材料，广泛用于制备许多产品和许多生产过

程中。硫为黄色非金属元素，化学性质与氧相似，易燃烧发出蓝色火焰。欧洲炼金术士称它为地狱之火或“燃烧石”。

硫是生命不可缺少的元素之一，存在于许多动物和蔬菜中，特别在蛋白质中。臭蛋的臭味来源于硫化氢。蛋中的硫可使银迅速变暗，形成黑色的硫化银化合物。花椰菜以及甘蓝族的其他品种含硫特别丰富，动物的毛也富含硫。

硫易燃烧，故广泛用于制作火柴、黑色火药和焰火。硫蜡烛能杀灭害虫，一种标准杀虫剂波尔多液中含有硫酸铜。另外许多防止真菌疾病的药物均由硫制成。硫化橡胶含有硫，硫化物还用于造纸。

硫以元素和化合物形式存在于自然界。世界上大部分天然硫存在于美国南方海湾地区的盐丘中，西西里也有巨大的含硫火山沉积岩。商品硫可由硫化矿提取，它是几种硫化合物的混合物，包括黄铁矿或硫化铁。

得克萨斯州和路易斯安那州的巨大天然硫矿是用弗拉施法开采的。弗拉施开采法是向地下矿藏开钻一个井，用15厘米粗的管子插入井套，管内还同轴地套装一根7.5厘米的管子和一根2.5厘米的管子。把过热的水压入大管子使井底的硫液化，然后将压缩空气压入小管子，把熔融的泡沫状硫通过大管子向上压到地面上，储存在一个用砖加固的几百米长15米高（或更高）的大池中。

工业上，硫还可从不同的气体中回收得到。“酸”天然气含硫太丰富了，不宜在家庭中使用，可以从中回收硫。硫还可从冶炼厂废气和工业烟气回收。

单质硫有几种不同的形态或同素异形体，它们的密度也不同。最普通的是斜方（常称正交）晶体硫，它的晶体是多面的；另一种是单斜（棱柱状）晶体硫，形似棱镜，由针状晶体组成。无定形硫是非晶体，为一种白色或浅黄色粉末。硫加热至略高于水的沸点温度时熔融成像水一样的黄色液体，继续加热变成黏稠的棕色液体，到250°C时燃烧成火焰。如果去除空气，这种棕色可塑的液体会逐渐变稀，并在444°C沸腾；如果继续加热，释出的红棕色气体会转变成无色。

硫的性质

符号……………S	相对密度（20°C）（斜方晶体）…1.55
原子序数………16	沸点…………………………444.67°C
原子量…… 32.06	熔点………………………… 112.8°C
周期表族类…VIA	

硫具有2、4、6和−2等化合价，因此它以许多方式与其他元素结合成化合物。主要的一些硫化合物有：硫化物、亚硫酸盐和硫酸盐。最常见的硫酸盐是硫酸铜或蓝矾（$CuSO_4$），可用做杀菌剂和染料用固定剂；硫代硫酸钠（$Na_2S_2O_3$）在照相暗室中用做定影剂；硫酸亚铁或绿矾、水绿矾（$FeSO_4$）用于羊毛染色、消毒剂和墨水制造。其他硫化合物为氧化物，其中最有用的是二氧化硫（SO_2），可用做漂白剂和防腐剂。（见：**二氧化硫**）

二氧化硫　SULFUR DIOXIDE

化学式SO_2。一种无色、有毒的重气体，火柴刚划着时的气味就是二氧化硫的气味。主要用于制备硫酸和其他含硫化合物（见：**硫**；**硫酸**），也用做消毒剂、制冷剂、漂白剂和食品防腐剂（特别用于干果）。

空气中大量的二氧化硫是由燃烧含硫燃料形成和释放的。因此二氧化硫成为分布最广泛的人为污染，通常用这种气体的含量来衡量空气污染的程度。在大气中二氧化硫变成三氧化硫（SO_3）后被水蒸气吸收，当下雨或下雪时，这些酸性水气就降落至地面变成酸雨。酸雨对环境有严重威胁，它能增加土壤、湖泊和河流的酸度；危及在那里生存的生物体。酸雨也侵蚀石灰石和大理石，在高度污染的城市中严重毁坏许多建筑物和室外雕塑。在20世纪后半叶，已广泛地采用控制二氧化硫污染的措施。

天然的二氧化硫存在于火山气体中，其溶液存在于一些温泉中。工业中二氧化硫由硫或一些硫化物，例如黄铁矿或黄铜矿在空气或氧存在下燃烧制得。在实验室中可先将硫酸（H_2SO_4）还原成亚硫酸（H_2SO_3），然后分解成水和二氧化硫。有时用强酸例如盐酸处理亚硫酸盐（亚硫酸的盐类）生成亚硫酸，同前法一样再分解成水和二氧化硫。

在室温下二氧化硫气体在中等压力下能变成液体。常压下液态二氧化硫在−73°C凝固，−10°C沸腾。

硫酸　SULFURIC ACID

只有少数化学品能像硫酸那样在许多方面影响人们的生活。它广泛用于制作许多日常必需品，是突出的最重要的工业化学品。硫酸的最重要的用途之一是用于汽车蓄电池，也用于生产肥料、药物、洗涤剂和许多金属。

硫酸（H_2SO_4）又称硫酸氢，为一种无色黏稠液体，像油那样稠密，特别在浓度大时更像透明、浓厚的糖浆。由于硫酸像油，过去人们将它叫矾油。然而硫酸有强腐蚀性，又不像真正的油。

硫酸的腐蚀性主要由两个普通性质引起。首先，硫酸有很强的亲水性，水无论存在于固体物质或空气中，硫酸都能将水分子吸收变成溶液，使物质干枯。由于这种过程非常猛烈，硫酸能将许多有机材料例如木头、纸张或糖焦化，留下含碳的残渣。一种实验室的干燥器就是利用这种“亲水”性质，用硫酸的存在来防止化学品受潮。

硫酸的第二个性质是它的快速离子化倾向。硫酸在稀溶液中分成氢和硫酸基（SO_4），留下的硫酸基负离子与其他原子自由地反应，因此硫酸能与许多金属和碳、硫及其他物质迅速发生反应。

硫酸是非常重要的工业化学品。主要用于从磷酸盐岩石制造过磷酸钙肥料。硫酸在石油工业中用做催化剂和精炼剂，在染料工业中用做使染料可溶化的磺化剂，在蓄电池和电镀槽中作电解液，还用于清洁金属表面上的油和润滑脂。在纺织工业中用于织物的染色、漂白和丝光处理，它也用于制造肥料、皮革、胶水、明胶，以及在印刷和照相制版中用做蚀刻剂。

硫酸在工业上是由三氧化硫与水反应制得，而三氧化硫是由二氧化硫与氧化合而成。硫酸在工业上有多种名称：古老名称矾油现在只用于商业品级的浓硫酸；铅室酸是

含有60%-70%硫酸的不纯水溶液，主要用于制造肥料；发烟硫酸是三氧化硫溶于100%硫酸的溶液，是最猛烈的硫酸，常用于制备有机化学品。（参见：**硫；二氧化硫**）

硒 SELENIUM

在黑暗中硒元素是电的不良导体，但在光照时它的电导率随光强度的增加而成比例地增加。硒也能将光直接转变成电。

瑞典化学家J.J.贝采利乌斯于1817年发现硒，但是元素的光敏性直到50年后才知道。硒曾用于电话的早期形式，也对发展电影的实验有贡献。从那时起，硒已用于太阳能电池中的光电装置、交通控制灯和摄影用曝光表。

硒可用于整流器，因为它能把交流电转变为脉动直流电。玻璃中加入少量硒化镉，能使玻璃脱色；大量加入能使玻璃变成亮红色，适用于作信号灯。这种元素也用于制备陶瓷和钢制器件的红色釉料，也用于橡胶硫化以提高橡胶的耐磨性。在静电印刷中，硒用于复印文件。

硒是周期表氧族元素的成员，与硫和碲密切相关。对人类无毒，被认为是人体的一种主要微量元素。可是有些硒化合物如硒化氢有剧毒。在含硒的一些土壤中生长的植物对动物有毒。

硒与氧生成二氧化硒，可作氧化剂。二氯氧化硒是极强的溶剂。精炼铜中，硒作为副产品存在于收集的残泥中，将残泥用苏打或硫酸焙烧，或与苏打和硝石熔炼，可回收硒。

硒的性质

符号……Se	相对密度(4°C)(灰色)…4.79
原子序数……34	沸点(灰色)……684.9°C
原子量……78.96	熔点(灰色)……217°C
周期表族类……VIA	

卤素 HALOGENS

组成卤素的5个非金属化学元素是：氟(化学符号为F)、氯(Cl)、溴(Br)、碘(I)和砹(At)。卤素位于周期表VII A族。

大部分卤素在地壳中都有相对较低的含量，只有砹除外。它在自然界不存在，因为它全部都是短寿命的放射性同位素，事实上这种元素的惟一来源是由核反应合成。卤素特别是氟都是非常活泼的，因此在自然界从没有单质存在，他们与大部分金属和许多非金属很快反应生成许多化合物。（参见：**核能；放射性**）

在一般化学性质和它们的化合物性质方面卤族元素彼此很相似（见：**化学元素**）。每个卤素原子的最外层轨道载有7个电子，都有得到一个电子的趋势。为获得一个电子，在反应中卤素原子像氧化剂那样起作用，并在反应过程中接受一个负电荷，成为一个负离子。卤族元素在它们的盐中为非常稳定的卤离子。（参见：**化学；氯；氟；碘**）

氯 CHLORINE

化学元素。一种有毒、腐蚀性、黄绿色的气体，具有明显的窒息性气味，比空气重2.5倍。氯与氟、溴和碘都属卤族元素。卤素与大部分金属化合生成的化合物叫卤化物（见：**化学元素**）。火山气往往含有少量的氯气。此外，氯经常与其他元素化合。

商业上氯由电解盐水制备，就是将电流通过盐溶液，制得游离氯、氢和氢氧化钠或苛性苏打。氯气加压变成液态，液氯用钢瓶储存和运输。饮用水和游泳池加入少量液氯可灭菌。大量氯元素用做工业和家庭用漂白剂。

氯的性质

符号……Cl	密度(0°C)……3.21
原子序数……17	沸点……-34.6°C
原子量……35.453	熔点……101°C
周期表族类……VII A	

在漂白过程中，氯与氧互相作用使染料和颜料还原成无色化合物。漂白可用液氯，也常用氯化合物。漂白粉或石灰的氯化物溶于水产生次氯酸钙$[Ca(OCl)_2]$，也用于漂白。

还存在许多其他氯化物。氯与金属化合生成氯化物，例如氯化钠；与金属和氧生成氯酸盐。它们被用于各种工业，像制造焰火和从矿中提取金。氯与氢生成重要的工业品氯化氢，氯化氢溶于水变成盐酸，广泛用于金属、食品、塑料和许多其他产品的制造业中。

盐酸 HYDROCHLORIC ACID

没有盐酸的稳定供应，国家的许多产业就要关闭。盐酸是氯化氢气体(HCl)的水溶液，约28.32立方米的这种气体能溶于0.0283立方米的水中。以重量计，商用盐酸通常标为含有28%到35%的氯化氢。

盐酸的一些主要工业用途为清洁或酸洗金属、从淀粉中生产葡萄糖和玉米葡糖，以及精制甘蔗糖。它也用于制造胶和明胶，是生产合成橡胶和塑料的必需品。

制造盐酸有三种主要工业方法。首先，氯化氢是氯化碳氢化合物的副产品，这是美国生产盐酸的方法。第二种是硫酸与盐焙烧生成氯化氢。第三种是将氢在氯中燃烧生成氯化氢。

氯化氢为无色气体，有刺激性臭味。因为有杂质，水溶液为黄色，通常为溶解的铁。氯化氢气体能溶于一些有机溶剂。盐酸与许多金属反应生成的盐叫氯化物。由胃壁腺体分泌的胃液含有盐酸，它在胃中帮助消化食物。自然界由活火山喷出的气体和从火山来的水源中含有少量盐酸。

18世纪科学家们曾将盐酸的英文名定为muriatic acid，来源于拉丁文，原意为腌制。在19世纪初期，氯化氢是各种工业过程的废料，例如生产苏打灰，在认识到它有许多用途前，它总是溶于液体后被倒入海中。

碘 IODINE

身体生长和维持正常生命的必不可少的化学元素。缺乏这种元素能导致甲状腺肿（一种甲状腺的肥大）和其他身体虚弱症。碘盐常用于防止碘缺乏。

碘为卤族元素之一，自然界从未有单质存在。非金属

通常为暗蓝色结晶固体，加热时产生紫色蒸气。

以碘酸钠的形式存在于智利硝酸钠矿床，这是世界最大的碘资源。在碘盐溶液中加入亚硫酸氢钠，能使碘沉淀。沉淀的碘可通过升华来纯化，即由固体直接变为气体，不通过液相。

碘产量的一半左右用做药物和治疗目的。碘酒是这种元素的乙醇溶液，常用做抗菌剂。含碘化合物的制剂常用于各种身心失调的处理，例如地方性甲状腺肿和黏液性水肿，以及在X射线过程中用做助剂。碘在工业中也重要，碘化银用于照相，碘是几种染料的成分。

1811年法国化学家B.库图瓦为了制造黑色火药，在处理海藻制造硝石时发现碘。1815年由另一个法国化学家J.L.盖-吕萨克正式确定为一种元素。

碘的性质

符号……I	相对密度(20°C)……4.94
原子序数……53	沸点……184.35°C
原子量……126.9044	熔点……113.5°C
周期表族类……VIIA	

铜 COPPER

铜可用于制造提供电力和大部分输送电话信息的电线，也用于电动机和发电机的电线、无线电电路、电视接收机、计算机和其他电子装置。除昂贵的银外，铜的电导率是所有金属中最好的，因此在电气工业中用途广泛。

镀锡的铜可制成厨用容器。与锌熔合或混合可制成黄铜。黄铜有许多用途，可作装饰用金属制品、一些水龙头和小螺丝。

铜是人类最早用来制作工具和器具的金属。铜像金和银一样往往以游离态存在于自然界，并易击打成形，即使不加热也能成形。约在7 000年前，埃及和苏美尔人就开始使用铜。罗马人从塞浦路斯岛得到这种金属，故以这个岛的名字命名铜。开始叫cuprium，后来改为cuprum，最后的英文名叫copper。

美国土著早在欧洲人到达前就已制造铜念珠和工具。青铜是一种铜锡合金，在人类物质文化发展史的早期就已普遍使用，历史的一个阶段叫青铜时代。黄铜在罗马时代就已使用。在用碳炼铁制成钢以前，铜一直是最重要的金属。

世界上最主要的铜生产者

铜矿的最大生产者是智利、美国、加拿大、扎伊尔、赞比亚和波兰。俄罗斯、哈萨克斯坦和亚美尼亚也生产大量的铜。许多生产地区将矿石直接运到别处，或只作熔炼不作精炼。日本、秘鲁和塞尔维亚生产相当数量的铜矿和未精炼的铜。

约在1709年，美国在康涅狄格州锡姆斯伯里首次开采铜，1845年开始在苏必利尔湖附近的密歇根矿床大量开采。现在美国90%的铜矿来自亚利桑那、犹他、新墨西哥和蒙大拿等州，其余的大部分来自内华达、密歇根、田纳西和密苏里等州。美国生产的铜40%到50%来自回收金属。美国每年的铜产量在100万到150万吨之间。

铜的重要用途

铜容易加工，延展性特别好。辊压厚度可达0.00254厘米，冷拉长度可增加到5 000倍，因此是制造电线的理想金属。铜颜色好看，有光泽，能高度磨光，几乎能与所有金属迅速形成合金。用铜作烹饪用具必须镀锡，以免形成有害化合物。

在美国约有一半的铜用于电装置，另外$\frac{1}{3}$用于流行的金属制品，如管子、桶和其他管件附属、金属器具和机械工具。其余用于运输工业、冷藏装置和其他用途。

铜的性质

符号……Cu	相对密度(20°C)……8.96
原子序数……29	沸点……2 567°C
原子量……63.546	熔点……1 083°C
周期表族类……IB	

精炼过程

铜可用干法或湿法从矿石中分离。在干法（又称火法）中，矿石首先粉碎成粉末，叫精矿。

大部分粉碎的矿石通过矿泥去除罐把无用的泥土材料溶于水并丢弃，再用韦尔弗利淘选台将富含金属的细颗粒拣出，其余的在球磨机中变为砂样颗粒，进一步用浮选法处理。

在这过程中，颗粒与油混合，被压入上升的水流中，粘油的含金属颗粒被水送到水面，非金属泥粒下沉。将所得的有价值颗粒与以前的精矿一起进行熔炼。

熔炼的第一步是在焙烧炉中除硫。焙烧过的矿物不断送入反射炉，熔化的产品分别以炉渣（废料）和冰铜流出。冰铜是含微量杂质的铜。

冰铜在转炉中进一步精炼。一股空气从转炉底部吹过熔融的冰铜，把剩余的杂质燃烧掉，得到“粗铜”，纯度约为99%。

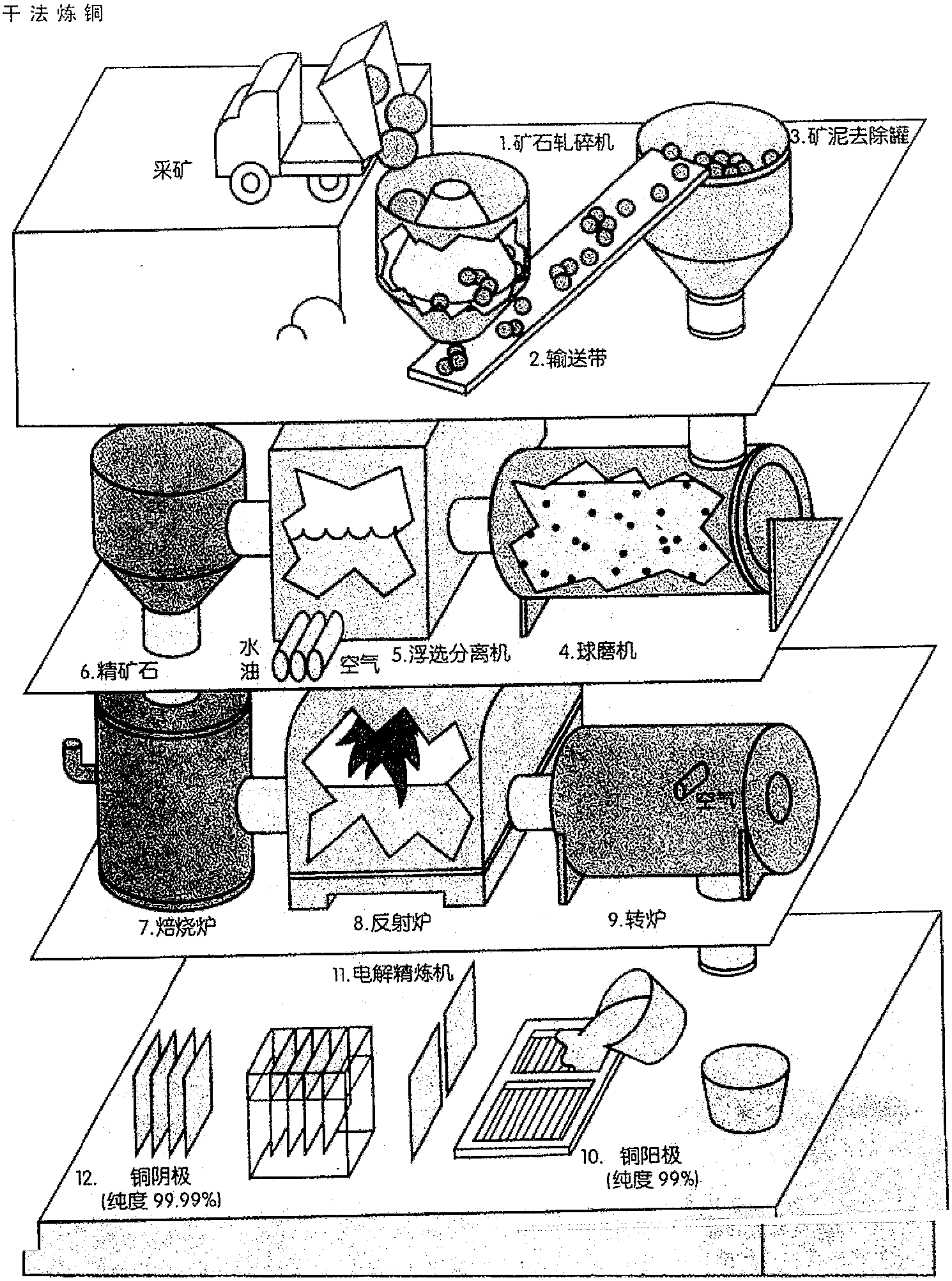
在湿法中，用酸将矿石中的铜溶解，或与一种试剂一起焙烧，使它转变成水溶性盐。常用的溶剂为硫酸、盐酸或氨。含铜酸溶液输入大槽，用金属铁或电解法使铜沉淀。沉淀物可直接精炼，或与冰铜一起熔炼，所用方法取决于沉淀物的含铜量。

最后用电解法（见：**电化学**）精炼，所得铜几乎没有杂质，有时纯度达到99.98%。这种方法也适宜从矿石中回收金和银。这些金属沉淀于电解槽底部的矿泥中，可通过精炼回收。

铜可在精炼厂铸成各种形状，如方块或平板用于滚压；圆块用作大型无缝圆筒形产品，如罐和热水加热器。还有圆的铜坯用于无缝铜管，铜棒用于制造电线。如果要把铜用坩埚重新熔融制造铜铸件或合金，就要铸成铜锭。

铜锭通常约25厘米长，7.3千克－10千克重，上面有一个或两个凹槽，使它们易于破碎成适合坩埚尺寸的铜块。

干法炼铜



铜可用干法从矿石中分离。将不需要的泥土材料在矿泥去除罐和浮选分离器中去除。将精矿再用焙烧、反射和熔炼三种炉子去除杂质。从最后的炉子得到的铜叫粗铜，纯度约为99%，可铸成厚板。粗铜有时用电解法进行最后精炼，在此过程中铜的纯度可达99.99%。

小的铜锭不好拿，经常铸成铜棒。制造电线的铜棒可滚压成不同尺寸的棒条。用于电力传输的电缆和导线束是由复杂的机器制造，在中心线束四周缠绕一定数量的电线。

最常见的铜合金

黄铜是最普通的铜合金，通常含59%到95%铜，其余是锌、多半还有其他金属。它在实际应用和装饰方面有许多用途。

铝青铜(90%铜、10%铝)是一种能延展的非常坚韧的金色材料，多用于珠宝饰物的加工。德国银(50%铜、25%锌、25%镍)可在许多用途方面取代银，可是必须正式有镀层以防氧化，否则会形成有害化合物。它能高度抛光，比银硬。某些需要坚硬和经常使用的机械部件，可在德国银中增加铝含量以提高硬度。

蒙乃尔合金(由矿石制造，其天然含量为68%到70%镍、1.5%铁、其余是铜)呈银白色，坚硬不易磨损，耐腐蚀，除强酸和强碱外能经受所有侵蚀。可用于船的螺旋桨、阀门、泵和化学装置。

铜的化合物

主要的铜矿是辉铜矿(化学符号 Cu_2S)和黄铜矿($CuFeS_2$，含铜黄铁矿)，其他铜矿有：靛铜矿(CuS)、斑铜矿(Cu_5FeS_4)、硫砷铜矿(Cu_3AsS_4)、赤铜矿(Cu_2O)和孔雀石[$Cu_2(OH)_2CO_3$]。

铜的两种最重要的氧化物是氧化铜(CuO)和氧化亚铜(Cu_2O)。氧化亚铜以赤铜矿形式存在于自然界。它与费林氏溶液一起用于测试糖尿病。两种氧化物在玻璃和陶瓷中用做颜料，也可做催化剂(见：催化剂)。氯化铜($CuCl_2$)是一种高效消毒剂，也在照相中用做"定影剂"。还有一种氯化亚铜($CuCl$)盐。

硫酸铜($CuSO_4$)是用途最广泛的铜化合物，它形成色彩鲜明的结晶体。无水或干的硫酸铜粉末有时在酒精和其他液体中用做干燥剂。硫酸铜可用于制造纺织品、农业产品、染料、墨水、油漆、胶粘剂和皮革，也用于化学、石油和熔炼工业。

银 SILVER 白色有光泽的软金属。是人类最早熟悉的金属之一。与金、铱、钯和铂一起同属贵金属族。现已在公元前4 000年前的王室墓穴中发现银饰物。西班牙迦太基人开采了著名的银矿，罗马人因羡慕这个财富而导致布匿战争。1859年在美国内华达州弗吉尼亚城附近发现的康斯托克矿脉可能是新大陆中最著名的银矿。在它的生产年代共出产价值2.25亿美元的银。

银比金稍硬，是仅次于金的延展性最好的金属。能打成厚度为0.000025厘米的银箔。1克银能拉成1.7千米长的细丝。银是热导性和电导性最好的金属。

银与金不同，银存在于许多天然矿物中，有些银以天然形式或从辉银矿(硫化银)或角银矿(氯化银)中得到。可是，大部分民用银是从熔炼铅、铜或锌矿的副产品回收，和从金矿中得到。纯银由粗银副产品由电解或化学方法制备。

银可制成锭、薄片、线、条、管材、铸件和粉末等许多形式。历史上，银主要以可储存的锭块和硬币形式用做货币。到20世纪60年代，工业上用银量已超过世界总年产量。

银不会与有机酸和碱迅速反应，在化学和食品工业中常用作缸、槽柜和其他容器的衬里。由于银的高导电性，常用于制作印刷电路和电子导体镀层。银与铜、金元素的合金可用于电触点。在照相工业中，用银与溴或氯的化合物制成的感光涂层，可把像印在胶片上。

银的性质

符号	Ag	相对密度(20°C)	10.50
原子序数	47	沸点	2 212°C
原子量	107.868	熔点	961.93°C
周期表族类	IB		

乙醚银可做工业用氧化剂和实验室试剂。硝酸银用于镀银、染发和制造墨水、玻璃和镜子，也可做强防腐杀菌剂。暗棕色的氧化银粉末可用于药物、玻璃上色和纯化饮用水。淡黄色的碘化银粉末主要用于药物、照相和在干旱条件下做人工造雨云的晶种。

银在制作货币、镀银器皿、装饰品、珠宝饰物和类似产品方面始终占重要地位。银铜合金的硬度、韧性比纯银好，并且更易熔，可用做珠宝饰物和硬币。银合金的含银量用纯度表示，它表示每千份合金含银的分量。货币银中含92.5%的银和7.5%的另外金属(通常为铜)，银的纯度为925。珠宝饰物用银是一种含80%银和20%铜的合金(纯度为800)。牙科用金合金含75%的金和10%的银。珠宝饰物用的黄金含53%的金、25%的银和22%的铜。

历史上银已用于货币材料，成为古希腊和罗马帝国货币的标准，19世纪以前银一直是大部分货币的标准，之后大部分国家改为金本位。20世纪60年代，银的工业用途迅速扩大，美国停止用银造币。每盎司银的价格升得太高，从熔化硬币提取所含的银能得到好处，美国财政部成为工业用银的主要供应者。1965年财政部降低半美元硬币的含银量，采用不含银的10和25美分硬币，以维持硬币周转量的银供应。到1967年，财政部最终从货币流通领域中取消了全部银硬币。

锌 ZINC 金属元素。通常用做水桶、雨水管和其他铁或钢物件的涂层以防生锈。这种相当软的蓝白色金属还有许多其他用途。所有黄铜都含锌。锌是有些药物的组成部分。锌是人体的主要痕量元素：在红血球中帮助代谢二氧化碳，胰腺中的锌可能有助于胰岛素的储存。

约在13世纪，印度人首先认识锌是一种金属。在西方一直到18世纪英国才进行锌的商业性生产。

现在生产的锌大部分用于镀锌铁皮，也就是在铁和钢表面镀锌以防生锈。锌的另一用途是制造黄铜，各种黄铜的含锌量从5%到45%。在许多用途中，常把锌简单地压延成薄板，叫辊轧锌，这些薄板可用于制造许多盖屋顶的产品、冰箱衬套和印版。

锌的化合物有许多用途。氧化锌导热性高,在橡胶制造中可用做散热剂。硫酸锌用做除草剂。硫化锌已用于X光屏幕、夜光钟表。锌化合物也用于药物和化妆用品。将碾碎的矿石与碳(通常为煤)一起熔烧,使锌蒸气冷凝,即得金属锌。锌也可用电解法从矿石中分离。

锌的性质

符号…………Zn	相对密度(20℃)…………7.13
原子序数…………30	沸点…………907℃
原子量…………65.38	熔点…………419℃
周期表族类…………IIB	

镉 CADMIUM

在自然界金属镉通常与锌共生,它的一些用途也与锌相似。镉的英文名来自拉丁文cadmia,原意是"菱锌矿",一种锌矿。全部镉都来自精炼锌或铅的副产品。

镉的最大用途是给钢、铁、铜、黄铜和其他合金电镀,以防腐蚀。镀镉比镀锌(电镀)好,它比锌沉积快,并能在复杂形状的元件上形成平滑的镀层。在金属表面镀一层薄镉,其保护效果相当于镀较重的锌。可是镉易被无机酸侵蚀,形成有毒的盐类。

镉合金在工业上很有用。内燃机中的轴承含有镉,因为它能经受高速和高温。在制造电线的铜中加入少量的镉能提高强度。

氧化镉在镍-镉蓄电池中用做负极板。溴化镉和碘化镉可用于照相和光刻。镉的其他化合物是重要的颜料,硫化镉(镉黄)用于高质量油漆、墨水和釉料。

金属镉(化学符号Cd)为有光泽的银白色元素,1817年发现,比锌软但比锡稍硬,具有纤维状结构。作为一种金属,镉的熔点和沸点都相当低。美国曾生产全世界需要量的一半,现在只生产$\frac{1}{10}$,其余从加拿大、澳大利亚和墨西哥进口。(参见:**化学元素**)

汞 MERCURY

常温下惟一的液态金属元素。常称水银,原意是活的或流动的银。汞的英文名来自上帝快腿使者希腊神赫耳墨斯的罗马名字。其英文名mercury也是靠近太阳最近的一个行星——水星的英文名。

金属汞密度很高,比水约重13.5倍。化学符号Hg,hydrargyrum的缩略词(源自希腊字hydor,原意为"水",和argyros,原意为"银")。

汞早为古代中国人和印度人所熟知,在公元前约1500年的埃及古墓中也发现有汞。汞的高密度和作为液体金属的不寻常性质引起中世纪炼金术士的关注。医生将它用做药物和高效消毒剂。

自然界发现一些游离的汞,但它主要存在于朱砂矿中,一种鲜红色的硫化汞。通过加热矿物和冷凝汞蒸气,很易得到汞。世界上主要的汞矿之一在西班牙阿尔马登城,据说约从公元前800年起就开采。西班牙和意大利生产的汞约占世界供应量的50%,其他产地有:斯洛文尼亚、德国和美国(主要是得克萨斯和加利福尼亚两州)。

汞的熔点和沸点之间距离很大,在加热时体积膨胀均匀,故用于温度计、气压计和科学仪器,还用于钟的补偿摆、热控装置和许多自动控制仪器。

由于汞受热膨胀,常用于恒温器和电力控制开关。极小的汞电池可用于助听器和微型收音机。汞蒸气用于紫外线灯、街灯、整流器和振荡器。

汞的性质

符号…………Hg	相对密度(20℃)……13.546
原子序数…………80	沸点…………356.6℃
原子量…………200.59	熔点…………-38.8℃
周期表族类…………IIB	

汞化合物可用做:杀菌剂、杀虫剂和杀真菌剂;颜料例如辰砂(也叫中国红);在纸浆和造纸厂控制黏度;以及防霉菌和防污染油漆。它也用于制造毡制品、乙酸、氯和苛性苏打。

汞很容易与许多粉状金属混合生成软合金或汞齐。金砂矿开采者用汞从砂砾层中提取金砂。汞和锡的合金用于镜子镀银。牙医用银汞齐补牙。

一种叫雷酸汞的炸药用于制造弹药筒雷管和爆炸所需的起爆帽。氯化亚汞(Hg_2Cl_2),常称甘汞,是一种药用制剂。含汞的红药水曾经是一种消毒剂。

吸入含汞的蒸气、烟或受汞污染的尘土都能导致汞中毒,这些污染来自使用加铅汽油的汽车尾气。咽下溶解的汞化合物和通过皮肤吸收汞,也会生病或死亡。工业化国家广泛使用汞会导致水源的严重污染。

铀 URANIUM

1789年德国化学家M.克拉普罗特发现元素铀,此后150年间,铀产生了历史上一种元素所能产生的最广泛的影响。最重要的是,它可用于核反应堆和核武器中。

铀在地壳中仅占百万分之2到4,并且铀矿石含量高于约0.2%的矿床很少。然而,有数百种矿物含有铀。例如,晶质铀矿和钒钾铀矿都是含铀量相当高的丰富矿物。沥青铀矿因在放射性元素的早期研究中被使用而为人们所熟悉,它是晶质铀矿的一个变种。

铀在地壳内分布广泛而其数量不大。像加拿大一样,美国——铀的主要供应国——也有大型的铀矿床。澳大利亚的北部地方有丰富的铀矿床,南非也成为铀的一个主要供应国。

性质

铀是一种银色金属,很重——为水的19倍以上。铀的特性之一就是放射性,这是法国物理学家A.贝克勒尔于1896年发现的。铀的放射性同位素按照称为半衰期的一定速率衰变为其他元素或同位素。每种同位素各有独特的特征半衰期。(参见:**核能;原子核物理学;放射性**)

铀的原子序数为92,原子量为238.029(见:**化学元素**)。铀的天然同位素有U-234、U-235和U-238。其他重

要同位素未见于自然界，但已在核反应中生成，例如在反应堆中所生成的，包括 U-232、U-233 和 U-236。U-235 和 U-233同位素特别有用，因为它们被中子轰击时可进行裂变。U-238 同位素捕获一个中子后转变为钚(Pu-239)。U-235和 U-238 由于具有这些性质，可用于制造原子弹。(见：**核能**)

铀易与其他原子反应，因为它容易失去它的 3 到 6 个外层电子(参见：**周期表**)。铀失去一个或更多的外层电子时，称为被氧化。铀由于具有多种可能的氧化态而可起多种化学反应，并能与其他元素形成多种化合物。其中主要是氧化物和卤化物。

铀的性质

符号……………………U	相对密度(20°C)…… 18.95
原子序数…………… 92	沸点……………… 3 818°C
原子量…………238.029	熔点……………… 1 132°C
周期表族类…………VIB	

铀与氧反应时可形成氧化物，例如 UO_2、U_3O_8 和 UO_3。铀与下列卤素之一反应，均可生成卤化物：氟、氯、溴或碘。铀还可与氧反应形成铀酰 UO_2^{2-}。铀酰离子可与其他化学物质化合形成分子，例如硝酸铀酰 $UO_2(NO_3)_2$，这类反应可用于铀的纯化中。

六氟化铀 UF_6 和四氟化铀 UF_4 是铀的两种主要卤化物。它们可用于铀的纯化和浓缩等工业过程中。

许多铀的化合物可溶于水或酸中。硝酸铀酰可由铀的任何氧化物溶于硝酸中而生成。铀可用酸性硝酸铀酰溶液在溶剂萃取过程中高度纯化。硝酸铀酰从水相中被分离(或称萃取)出来而进入有机相，剩下大部分杂质。硝酸铀酰的化学行为形成许多现代大规模铀纯化方法的基础。

萃取和加工

自核动力反应堆中首次大规模应用铀起，就加紧对大型铀矿床的勘探。美国的大量勘探在西部各州，主要是科罗拉多、犹他、亚利桑那和怀俄明等州进行，这些地方已知有矿床存在。

在美国，铀矿石在砂岩矿床中存量很丰富。还有一些脉状矿床，一般比砂岩中的级别高。因为铀矿石的铀含量与砂子或其他矿物的含量比起来通常很少，所以铀的加工厂必须位于铀矿附近，以降低矿石的运输成本。

生产铀的第一步是破碎和磨碎矿石，生成粗粒的砾石状物质。然后将磨碎的矿石溶解在浸提液中，浸提液是硫酸或碳酸钠与碳酸氢钠的混合物，这视矿石中的杂质而定。如果矿石中含有约 15%以上的石灰石(碳酸钙)，则使用上述碳酸盐混合物，因为石灰石将消耗太多的酸。矿石溶解时形成一种铀酰化合物；如果使用硫酸浸提液，则形成硫酸铀酰；如果使用碳酸盐混合物，则形成三碳酸铀酰。

利用称为离子交换树脂的一种特殊物质或利用某些有机溶剂之一的溶剂萃取法，将这些铀酰盐有选择地从浸提液中分离出来。在任一种情况下，都是靠物理学原理将铀化合物从原有溶液中分离出来，剩下许多杂质。重复进行离子交换或溶剂萃取过程，即可得到很纯的铀产品。

下一步，将铀进行沉降、干燥和包装，准备以黄饼的形式运输。在第二种工厂中，可进行最后纯化，即将铀转化为六氟化铀气并进行选择性蒸馏，以与杂质分离。此后，铀往往准备用做核反应堆的燃料。在这种情况下，它须经过一种浓缩 U-235 同位素的过程，称为同位素富集。

有许多物理和化学方法可分离各种铀同位素。但是，可大规模实用的很少。最早的铀同位素分离方法之一使用数排大型的电磁分离器，称为电磁同位素分离器。电磁同位素分离器法最终被气体扩散法所取代，后者是今天使用的主要方法。

在气体扩散法中，将六氟化铀气送入一种高度多孔性金属管中。约有一半气体流(或渗流)过管壁。将渗流通过的和剩下的气体泵人各别的与先前相同的管中，并重复进行这种过程。气体每渗流过一次管壁，U-235 同位素就浓缩或称富集一次；富集的铀称为产品。提取 U-235 剩下的气体称为尾气。进行一次分离所用的一组管子和泵称为一级。铀的充分富集需要数千级，许多级合在一起称为一个级联。

另一富集方法称气体离心法，在此法中，将六氟化铀气(UF_6)送入称为离心机的巨大竖式旋转圆筒中。$^{238}UF_6$ 的分子重于 $^{235}UF_6$，因此优先被甩到离心机壁上，而较轻的 $^{235}UF_6$ 分子则集中在距中心较近处。离心机内专门设计的戽斗收集 $^{235}UF_6$ 浓度较高的六氟化铀部分。如同在气体扩散法中一样，一次这样的分离操作称为一级，数级合在一起称为一个级联。气体离心法采用于欧洲的某些地区。

还有一种富集方法，称为原子蒸汽激光同位素分离法，英文缩写为 AVLIS，在此法中，将金属铀在一个大室内蒸发，并用准确控制波长的激光照射。一个光子将使蒸气中的一个 U-235 原子电离或失去一个电子，而留下 U-238 原子相对地不受影响。电离的 U-235 原子然后可收集在带电荷的表面上，而 U-238 原子聚集在另外的表面上。在此法中，一级即可达到很高的富集。

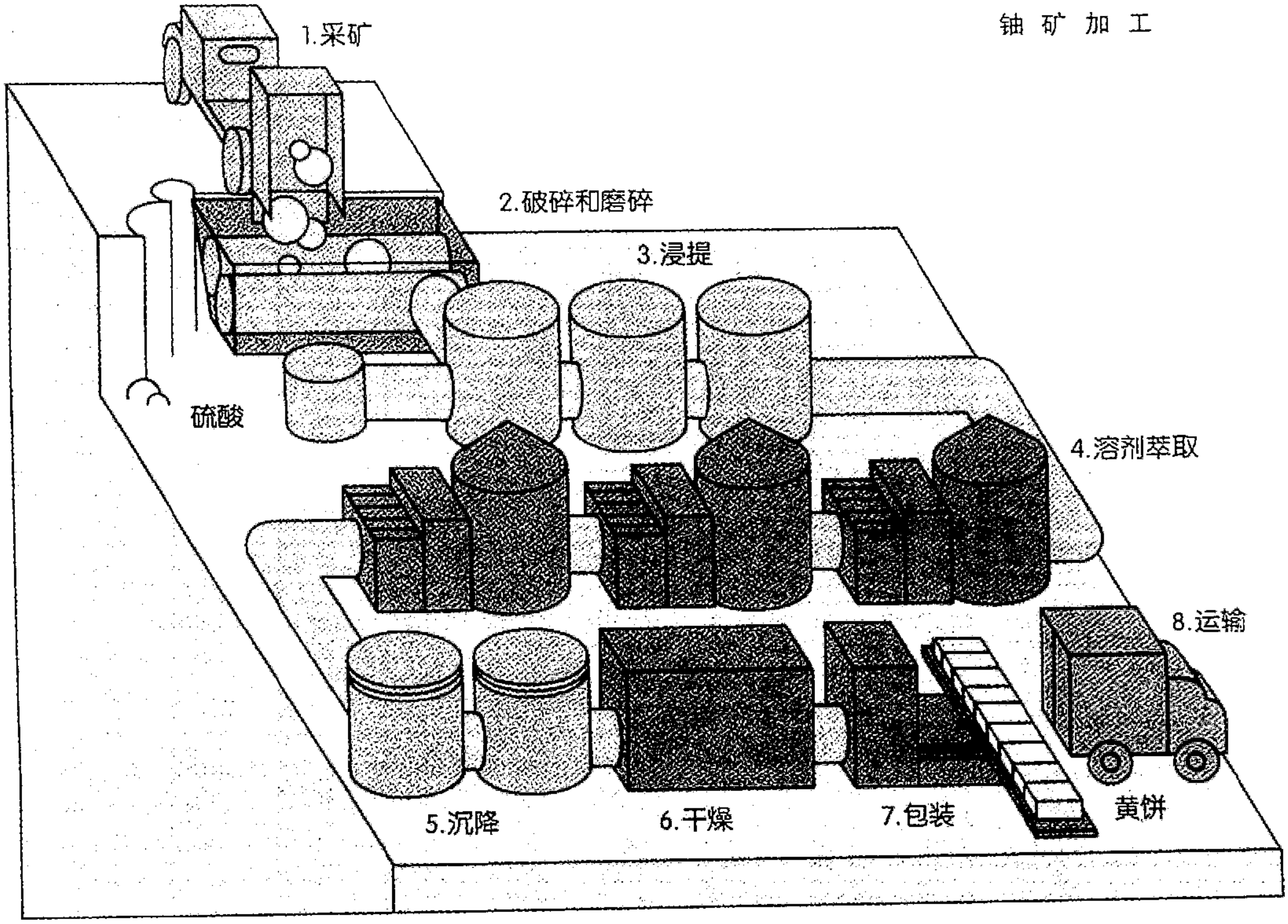
还有两种化学方法，有希望用于铀同位素分离。它们是溶剂萃取和离子交换，二者均已迅速开发，前者在法国，后者在日本。

某一过程中可达到的分离程度称为分离系数。一般说，在化学过程中一级所达到的分离系数小于物理过程中的，需要许多级方可达到所需的分离程度。达到这种分离所需的能量用专门的分离功单位来计量，其英文缩写为 SWUs。

铀的应用

铀的最广泛用途是用做核反应堆的燃料。二氧化铀是大型现代反应堆中铀的最常用的化学形式。但是，较老的反应堆中仍在使用一些金属铀。一般说，用做燃料的铀制成小圆柱形式，装入称为包壳的金属管中。最常见的包壳是锆合金，选择它的原因在于它不易与中子反应。铝常用做较小的研究性反应堆中的燃料包壳；在这种情况下，燃料本身常为铝与铀的合金。动力反应堆燃料中铀的浓缩程度通常约为 3%。浓缩到 90%以上的铀用于核武器中。(参见：**核能**)

铀矿加工



在铀的一种生产过程中，首先将矿石破碎和磨碎，然后溶解在硫酸或碳酸盐混合物的浸提液中。浸提中形成的铀酰盐可用重复的溶剂萃取法提取。铀化合物由溶液中沉降下来，所生成的固体称为黄饼，然后进行干燥、包装和运输。

金属铀的密度高，使它可用做辐射屏蔽。它有时为此目的用于将高放射性的废燃料由核反应堆运至存放地点。金属铀的高密度还使它用于炮弹中时具有强穿透力。当需要在很小的体积内具有很大的重量时，它还可用作镇重物。

草酸铀酰溶液多年以来已用于感光计，即测定光速中的光子数所用的仪器中。被铀酰离子吸收的光能可引起高度再现性的化学和物理反应。

撰文：Raymond G. Wymer

钛 TITANIUM

第二次世界大战后，超音速高空导弹和航空器的发展，使一般合金和金属经受不住喷气式发动机的高温和在高速下与空气摩擦产生的应力，造成了对较好金属材料的需要。

钛的性质

符号	Ti	相对密度（20°C）	4.54
原子序数	22	沸点	3 287°C
原子量	47.88	熔点	1 660°C
周期表族类	IVB		

钛是能满足这些需要的一种金属。它像钢一样坚固，但比它轻 45%。比铝重 60%，但强度是它的 2 倍。导热和导电性非常低，磁反应很弱。因为这种金属能耐许多酸、盐水和海洋空气的腐蚀，常用于管子和阀门、化学工厂的表面材料和船只的暴露部分。

钛在 1791 年由英国的 W. 格雷哥尔发现。1795 年由德国的 M. H. 克拉普罗特命名。纯钛几乎不可能得到。在熔炼矿物时，熔融的热矿块吸收大气气体，产生一种易碎的无用产物，这个困难一直到第二次世界大战后才克服。

钛的现代需要

生产金属钛的第一个好方法是由美国矿物局开发的。他们使用由卢森堡来的流亡者 W. 克洛耳发明的克洛耳法。在试验工厂生产出以吨计的金属后，政府向私营企业提供财政资助以建立一个补充工厂。1948 年钛产量迅速增至 3 吨。20 世纪 80 年代早期，海绵钛的平均年产量超过 2 万吨。

在克洛耳法中，用氯处理二氧化钛（TiO_2）和焦炭的混合物生成四氯化钛（$TiCl_4$）。将它通过熔融的镁，生成氯化镁和海绵状的金属块，海绵块能制成最后的形状。操作过程中有需要时可用氦或氩气保护以防空气影响。政府计划

的一部分是寻找更方便和更省钱的方法。

钛的矿物和化合物

钛是地壳中含量占第9位的丰富元素。主要的钛矿是钛的二氧化合物与其他元素的化合物。金红石(TiO_2)是钛的二氧化合物与某些铁的红棕色结晶矿物;钛铁矿是钛和铁的复合氧化物($FeTiO_3$)。

用途最大的化合物是二氧化钛,以"最白"的物质著称,可用于油漆、油毡、化妆品、高质量纸的颜料,以及漂白皮革和制作假牙。

矿物可转变成高浓度二氧化钛或与钢和其他金属的合金。这种合金可用于制造导弹和宇宙飞船,也用于高空航空器。

钒 VANADIUM

钒以化合物的形式存在于煤、石油和其他矿物中。在地壳中的丰度占第22位。钒的最大产地在南非。大部分钒用于制造工具钢、高强度结构钢和耐磨铸铁。

钒为银白色软金属,属周期表VB族。天然钒由两种同位素组成:稳定同位素钒-51,约占金属钒的99%;其余为弱放射性同位素钒-50。已经生产出多于6种的人工放射性同位素。钒不溶于氢氧化钠、盐酸或稀硫酸,也不易失去光泽。加热时能与氧、氮、碳或硫化合。

钒能改善其他物质的性能。例如:钒能改善钢的熔合性能,提高金属的抗张强度,增加耐冲击和耐金属疲劳。铸铁中加入0.15%钒,能提高强度10%到25%。钒化合物在硫酸生产中用做接触剂,也在油漆和墨水中充当干燥剂。钒金属及其薄板、带、箔、棒、丝和管等已用于化学工业及与其他金属结合等高温作业。

地壳中含少量钒的贫矿分布很广,钒的富矿很稀少。美国大部分钒矿来自亚利桑那州。其他产地是俄罗斯、南非和墨西哥。最常见的钒矿是:钒钾铀矿(也是一种铀矿)、钒铅矿、绿硫钒矿和钒云母。商业来源包括:含钒的磁铁矿和以委内瑞拉石油为燃料的一些发电厂的烟囱中的烟道灰。

1801年由西班牙矿物学家A.M.德里奥首先发现,当时他认为钒只是不纯的铬。1830年瑞典化学家N.G.塞夫斯特穆再次发现钒,并以斯堪的纳维亚女神Vanadis之名将其命名为vanadium,以表示钒化合物在溶液中的美丽颜色。1867年英国化学家H.E.罗斯科首先分离出钒。美国化学家J.W.马登和M.N.里奇用钙金属还原五氧化二钒,制得纯度为99.7%的金属钒。(参见:**化学元素**)

钒的性质

符号	V	相对密度(20°C)	5.96
原子序数	23	沸点	3 380°C
原子量	50.9415	熔点	1 890°C
周期表族类	VB		

铌 NIOBIUM

1801年英国化学家C.哈切特发现一种金属,命名为钶(columbium)。约40年后,另一个德国化学家H.罗泽再次发现这种金属,并命名为铌(niobium)。以后尽管各国化学家已协商同意将这种金属定名为铌,但这种质软有延展性的金属仍有两个名字。

铌外观像钢,抛光后像铂。具有耐腐蚀、吸震性好和耐特高温度等特性。含少量铌的合金在工业上可做抗震、耐磨的热压模具和切削工具。铌的电导性使它广泛用于电子装置和超导磁体。铌镍合金耐高温,不锈钢中加入铌铁合金可提高焊接或热处理稳定性。铌也用于高强度结构钢。由于铌与铀不起化学反应,而且耐腐蚀,铌的合金已用于核反应堆的堆芯。

铌矿分布很广,主要产源为钽铁矿、铌铁矿和烧绿石。铌的主要产地是巴西、加拿大、尼日利亚和扎伊尔。

铌的性质

符号	Nb	相对密度(20°C)	8.57
原子序数	41	沸点	4 742°C
原子量	92.9064	熔点	2 468°C
周期表族类	VB		

钽 TANTALUM

化学元素周期表VB族中质地很硬的银灰色金属,具有高密度、特高熔点和在常温下几乎能耐各种酸等特性。1802年由瑞典化学家A.G.厄克贝里首先发现。1903年首次制得可延展的钽,不久被用做白炽灯的灯丝。

钽较稀少,其丰度与铀差不多。钽和铌共生于铌铁矿、钽铁矿、烧绿石和细晶石等矿中。天然钽金属含有一些铌和痕量锰、金,少量存在于分割欧亚大陆的乌拉尔山脉,还可能存在于中亚细亚的阿尔泰山脉。

钽的最主要用途是制作电解电容器和耐腐蚀化工设备。钽电容器的单位体积电容量比任何电容器都大,广泛用于微型电路。其他还用于制造电子管部件、整流器和医用修复器械。

钽的性质

符号	Ta	相对密度(20°C)	16.65
原子序数	73	沸点	5 425°C
原子量	180.9479	熔点	2 996°C
周期表族类	VB		

铬 CHROMIUM

银白色金属。1797年由一位法国化学家发现,但停留在实验室阶段长达一个多世纪。铬高度耐热和耐化学品,用以前方法从矿石提炼铬,价贵而且困难,因此长期影响它的广泛使用,但正是这种特点使铬在当今商业上很重要。

铬质硬、耐化学反应。铁或钢中加入10%的铬可制成耐腐蚀不锈钢。这种合金可做厨刀、外科器械和汽车内部装饰等上千种物品。由于它的高硬度和耐化学反应,镀铬已基本取代镀镍。耐热铬合金可做耐高温化学器械。用主要铬矿——铬铁矿制成的砖可做熔炉内衬。

铬是矿物和金属色彩的主要成分之一。祖母绿、红宝石、蛇纹石、翠绿宝石、铬榴石、一些蓝宝石等多种宝石的彩色都因含铬所致。钡、铅和锌的铬酸盐可做柠檬(铬)黄、铬黄、铬(铅)红、铬橙、锌铬黄、锌绿等颜料。另一种铬绿颜料可用于制作绿色玻璃。

铬明矾和铬酸广泛用于鞣革和印染工业中。重铬酸钾(又称重铬酸盐)对凝胶溶液有明显的作用,它能使这种混合物经干燥和光照后变成不溶于水。这种特性常被用于制造防水胶和摄影、照相感光制版等。

铬可从含有铁和氧的铬铁矿提炼。美国西部有一些铬铁矿。铬的主要产地是:原苏联、南非、阿尔巴尼亚、巴西和津巴布韦。

铬的性质	
符号……………………Cr	相对密度(20°C)…… 7.19
原子序数………………24	沸点………………2 672°C
原子量……………51.996	熔点………………1 857°C
周期表族类 ………… VIB	

钼 MOLYBDENUM

银灰色金属。用于提高钢和其他合金的高温强度。钼是相当稀有的元素,它的主要来源曾一度被当做铅矿,因此钼的英文名来源于铅的希腊名 molybdos。(参见:**化学元素;周期表**)

钼主要用于生产合金,以提高其高温强度和耐腐蚀性。钼化合物常用做颜料和精炼石油接触剂。钼金属也广泛用于电子、电和核能工业,或用于电炉电极和飞机、导弹的部件。

大部分钼产于美国,约一半是炼铜工业的副产品。其余产于智利、墨西哥、秘鲁和挪威。最普通的钼矿是辉钼矿(二硫化钼 MoS_2);另一种是钼铅矿(钼酸铅),存在于铅矿中。化学生产中常用的钼化合物是三氧化钼 MoO_3,它是由辉钼矿石在空气中焙烧去硫制得。钼铁合金是制造精密仪器的硬合金钢,它直接由辉钼矿经碳、石灰和硅还原和加铁制得。

钼的性质	
符号…………………Mo	相对密度(20°C) …… 10.22
原子序数………… 42	沸点 ……………… 4 612°C
原子量……………95.94	熔点 ……………… 2 617°C
周期表族类…………VIB	

钨 TUNGSTEN (WOLFRAM)

高强度金属元素。1783 年首先从黑钨矿中分离得到。早在 1781 年,瑞典化学家 C. W. 舍勒从白钨矿中发现钨酸,他的同胞 T. 贝格曼曾断定从这种钨酸中可制备出一种新金属。自钨发现以来,一直沿用 tungsten 和 wolfram 为元素英文名,英美科学家赞成用 tungsten;德国和其他一些欧洲国家用 wolfram。而所有国家都用 W 作元素符号。

钨在地壳中的含量估计为 0.00015%,或每吨岩石约含 1.5 克。钨的丰度与相似元素钼或锡大致相同,为铀的一半。有重要经济意义的钨矿为黑钨矿和白钨矿两种。

金属钨呈镍白色到淡灰色光泽。在所有金属中钨的熔点最高,在加热到 1 650℃时抗张强度最大,热膨胀最低。钨在室温下是脆性金属。纯钨在高温下能抽成细丝。钨是第一个被用做灯丝的材料,随后广泛用于电和电子工业。钨常以渗碳化钨的形式制成很硬的韧性模具、工具、量具和钻头。大量钨用于钨钢生产中。有一部分钨在航天工业中用于火箭发动机喷嘴喉管和为重返大气层的航天器前缘表面。

钨在化学上比较不活泼,但已制得许多化合物。最重要的化合物是碳化钨,化学式 WC,硬度为莫氏硬度 9.5,可以单独地或与其他金属碳化物结合用于提高铸铁、锯齿或钻头切口的硬度。

钨的性质	
符号……………………W	相对密度(20℃)……19.3
原子序数………………74	沸点……………… 5 660℃
原子量…………183.85	熔点……………… 3 410℃
周期表族类 ………… VIB	

锰 MANGANESE

锰能使钢提高坚韧和耐磨性,用锰钢合金制成的铁路转辙器和交叉点能保持外形不变。几乎所有商用铝、镁合金都含有锰,以改善其耐腐蚀性和机械性能。

锰同铁一样是一种灰白色金属,但比铁质硬,易碎。绝大部分锰来自矿物,最普通的锰矿是软锰矿(二氧化锰 MnO_2)和菱锰矿(碳酸锰 $MnCO_3$)。

锰是植物和高级动物中最主要的微量元素,锰过量,则对两者都有毒。95%以上的锰用于冶金业,主要用于炼钢。二氧化锰在玻璃制造业中用于抵消因玻璃不纯引起的绿色。锰本身可使玻璃变成紫晶色,颜色与紫晶矿一样。锰盐可做肥料添加剂和印染纺织品的试剂。二氯化锰可做饲料添加剂。

与其他元素结合的锰广泛分布于地壳中。锰矿的主要生产国是:印度、南非、加纳和摩洛哥。

锰的性质	
符号…………………Mn	相对密度(20℃)………7.21
原子序数 …………… 25	沸点……………………2 097℃
原子量…………54.9380	熔点……………………1 244℃
周期表族类 ……… VIIB	

铁 IRON

化学元素。是地壳中分布占第 4 位的元素,在金属中其丰度占第 2 位。早期人类就会使用铁。铁的化学符号 Fe 来自拉丁文 ferrum。英文名来自盎格鲁-撒克逊文 iren 或 isern。铁在地壳中的含量约为 5%。铁的化学性质活泼,在自然界常与其他元素化合存在于岩石和土壤中。动植物中也含有很少量的铁。

在地壳中,铁主要以氧化铁矿状态存在。其中天然磁石或磁铁矿以其具有磁性而得名;赤铁矿储量最丰富,但含铁量比磁铁矿低;褐铁矿和菱铁矿储量较低。陨石中也发现铁和镍的合金。(参见:**矿物**)

物理和化学性质

铁像其他金属一样导热和导电,有光泽,在化学反应中形成正离子。纯铁较软,加热时易成形。呈银白色,易磁化。与少量碳结合生成钢。重要的铁化合物有两类:在形成化合物时铁离子是+2 价(化合力的量度)的叫亚铁;离

子价是+3的叫(正)铁。铁元素有4种稳定同位素。

当加热时,铁的晶体结构和磁性发生变化。如果将磁铁加热至红热,会失去磁性。

铁在潮湿空气中很快生锈,因为铁很易与空气中的氧气化合。如果将铁用磷酸盐溶液涂盖就能防锈。用锌涂盖的镀锌铁也能防锈。

用途

铁是炼钢的基本原料。一种叫威尼斯红的氧化铁可做桥梁和火车车厢的涂料,也可做化妆用胭脂和磨光镜片。洗衣蓝和建筑工程师用的晒图蓝都含有普鲁士蓝颜料,它也是一种铁的化合物。此外,铁芯广泛用于电话、马达和其他器械的电磁铁中。

人体中的铁

在人体总重量中约有0.004%是铁,也就是说:一个普通身材的成人含有3克铁。铁存在于每个人体细胞中,并且通过含铁酶即细胞色素帮助细胞氧化食物。

人体铁大部分存在于血液中,它是红血球中血红蛋白的一部分。血红蛋白是一种蛋白质,它能从肺部把氧气输送到血管,然后通过毛细作用送到人体各部分。如果没有铁就不能形成血红蛋白,人体细胞就会缺氧。缺铁是引起贫血的原因之一。

人体通过肠道吸收肉类(特别是肝和鱼)、绿色蔬菜、豌豆、豆类等食物中的铁。其中约60%用于血红蛋白,约25%储存在肝、脾和骨髓中以备需要,其余的铁用于血浆、肌肉组织、蛋白质和酶化合物中。

当红血球损耗时,血红蛋白中的铁转移到肝储存起来,以生成新的血红蛋白。健康身体只消耗少量铁,它能从均衡饮食的食物中得到。每个人的铁的日供应量应为10-15毫克。出血引起的缺铁应由药物和食物补充。

铁的性质

符号……………………Fe	相对密度(20℃)…7.85-7.88
原子序数……………26	沸点…………………………2 750℃
原子量………55.847	熔点…………………………1 535℃
周期表族类………Ⅷ	

钴 COBALT 金属元素。过渡元素之一,与铁和镍相似。三种元素有时称铁系(参见:**化学元素**;**周期表**)。1735年由瑞典化学家G.布兰特首先发现。纯钴呈银白色,略带微红,质地坚硬,易磁化。化学活性比铁略差。在常温下与空气或水不反应,缓慢地溶于稀酸,放出氢气。

钴在地壳中的含量约为0.001%。自然界不存在游离钴。钴矿主要为钴与铜、砷、硫、氧等元素的化合物。钴也存在于陨石中。主要矿物有:砷钴矿——钴和砷的化合物;辉钴矿——钴和砷、硫的化合物。钴矿主要产于扎伊尔、赞比亚、摩洛哥和加拿大。

金属钴主要从钴矿中提取,包括熔炼和焙烧、浸提、沉淀和电解等步骤。用铝、碳或氢还原钴沉淀,也能制得金属钴。

钴主要用于各种合金钢。钨铬钴合金用于高速高温金属切削工具;碳化钴钨硬质合金是最硬的人造物质之一;铁镍铝钴合金用做扩音器的永久磁铁。钴在合成汽油等反应中充当催化剂。由钴化合物制成的蓝颜料用于搪瓷和涂料。钴的亚油酸盐干燥剂可使表面涂层硬化。

钴-60是金属钴的一种有很大价值的放射性同位素,是在核反应堆中用慢中子轰击金属钴或氧化钴制得的。钴-60发射β粒子和γ射线,半衰期5.25年。广泛用于治疗癌症,也用于基因变化等农业研究,往往能促使水果、谷物和蔬菜产生新的品种。在工业中钴-60常用于探查铸造物的内部裂隙和在化学及制造工业中用做示踪物。

钴的性质

符号……………………Co	相对密度(20℃)…………8.9
原子序数…………27	沸点……………………2 870℃
原子量……58.9332	熔点……………………1 495℃
周期表族类………Ⅷ	

镍 NICKEL 最有用的金属之一。早期由于不易得到,英文名来自德文Kupfernickel(假铜)。镍在地壳中的含量约为0.016%。银白色金属,有光泽,比铁硬,有延展性和铁磁性。1751年由瑞典化学家A.F.克龙斯泰德首先分离得到。

纯镍常用于电镀涂层(镀镍),以美化和保护其他金属。镍合金有许多家庭和工业用途。铜锌镍合金(又称德国银)常用做餐具和镀银餐具的基质。铜镍合金可铸硬币。

多数镍在炼钢中用做补强剂。为降低价格和增加坚韧性,合金中还经常增加铬。镍铬钢耐腐蚀、抗氧化和耐热,常用于高强度结构件;机器的热处理部件;汽车轮轴、主轴和齿轮以及装甲钢板。铜镍合金可做子弹壳和锅炉管子。镍和铁、铬或铜等金属形式的合金,常在电气工业中做电阻丝。

镍化合物有许多用途:氧化镍可用于蓄电池、玻璃制造和陶瓷上釉。镍盐用于电镀,也可在制造肥皂和人造黄油中做油类硬化剂。除硝酸外,镍能耐大部分酸的腐蚀。

世界上镍的最大产地是加拿大安大略省的萨德伯里。主要是镍黄铁矿,一种铁镍的硫化物。其他重要的镍产地是新喀里多尼亚和澳大利亚。

镍的性质

符号……………………Ni	相对密度(25℃)………8.902
原子序数……………28	沸点……………………2 732℃
原子量…………58.71	熔点……………………1 453℃
周期表族类…………Ⅷ	

铂 PLATINUM 灰白色金属。质软,有延展性,密度极高。例如1立方米的铂重21.45吨,而烟煤只重1.42吨。18世纪前半叶在美国南部发现。元素英文名来自西班牙文platina,原意是"小银"。含铂的火成岩分散于有关的砂积矿,是这个天然元素最有生产价值的来源。

铂是贵重元素之一。这样称呼是因为它的化学性质不活泼,熔点1 769℃,抗氧化。

在美国,铂金属主要用于化工和电气工业。铂催化剂在商业上用于硫酸和硝酸生产,也用于催化裂化法精炼石油。因为这种金属耐高温和电弧的腐蚀在通讯系统用于开关的耐用电触点。

铂在其他领域也有多方面用途。铂铱合金高度耐热,在激光加工中用做熔埚和模子。因为它在范围很广的条件下能保

持固定的尺寸和重量，常用这种耐用合金制造国家度量衡标准、长笛和其他木制管乐器的音乐部件和自来水笔笔尖。

铂的高熔点使它主要用于实验室装置，如屏蔽和坩埚以及高温测量装置，如高温计。尼龙和其他合成纤维生产所用的叫喷丝头的喷嘴是由铂制成的。这种金属也用于珠宝饰物的镶嵌。

铂以相当纯的粒状或块状形式存在。通常与铂族的其他金属，如铱、锇、钯、铑或钌形成合金。自然界已知存在的惟一铂化合物矿是砷铂矿或砷化铂，铂也是精炼镍、金、银和铜矿的副产品。世界上最大的两个铂生产国是加拿大和南非共和国。美国、哥伦比亚和日本也生产一些铂。

铂的性质

符号	Pt	相对密度(20℃)	21.45
原子序数	78	沸点	3.827℃
原子量	195.09	熔点	1.769℃
周期表族类	Ⅷ		

有机化学 ORGANIC CHEMISTRY

碳与许多元素结合成多种多样的化合物，在如同煤、石油、纤维、塑料和橡胶这样的物质中可发现这些化合物。其他的碳化合物包括植物和动物的组织、糖、蛋白质、淀粉和纤维。已知的碳化合物大约有 100 万种。含碳的物质称做有机化合物。研究有机化合物的学科称为有机化学。

这个名称起因于化学家曾经认为许许多多的这类化合物只能由生命力来形成(一种生命过程)。1828 年当德国化学家弗勒将化合物氰酸铵 NH_4CNO 转化为尿素 $(NH_2)_2CO$ 时，这种想法才被证明不正确。

在此以前尿素已被认为只能是生命过程的产品，而今，化学家能够制造许多以前只能由有生命的植物和动物产生的制品。

碳化合物以如此数量和多样性存在，其原因在于碳的化学性质。碳具有 4 个可形成共价键的价电子。由于碳位于周期表的ⅣA 族内，它出现在金属和非金属的中间，具有与这二类元素都可以反应的能力。在各种原子中，碳原子的结构是独特的，它可以有一大批在常温常压条件下是稳定的，而在其他情况下是化学性质活泼的化合物(见：**碳；化学元素；周期表**)。碳的反应性能如下：

1. 碳原子具有彼此间能相互结合，以形成环状或长链的不寻常性质。其他元素则不会如此延伸。

2. 碳可以与许多不同的原子或原子团结合。这个性质，加上形成长链的性能，使碳在形成化合物方面是所有元素中最为多能的。

3. 碳可形成许多以同分异构体形式存在的化合物。同分异构体是原子的数目和种类相同而排列方式不同的分子，例如 CH_3CHCl_2 与 CH_2ClCH_2Cl。

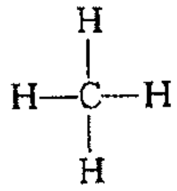
烃族 这些因素所产生的影响可以用最简单即只含碳和氢称为烃的有机化合物来阐明。这些化合物可以用分子式来表明化合物中的原子的数目和种类，也可用结构式来表示。结构式用短线表示将原子联结在一起的每个共价键。在这样一个结构式中，每条短线代表一对电子；通常每个有关的原子提供一个成键的电子。如下式所示：

成键的电子 C:H　　用线表示的键 C—H

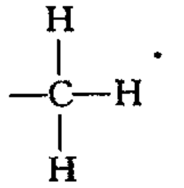
原子团也可以由一个或多个共价键结合起来。这样的原子团(有时称做基)在其末端提供一个或多个共价键以构成化合物。由简单的母体烃衍生出来的基可以用改换母体烃名称的字尾来命名，如甲烷 CH_4(烃)；甲基 CH_3(基)。最简单的三个烃(甲烷、乙烷、丙烷)及其相应的基或结合的原子团用各自形式的式子表示如下：

有机化合物的结构

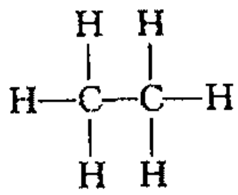
甲烷 CH_4



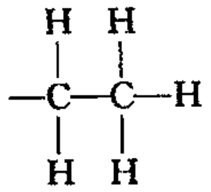
甲基 $-CH_3$



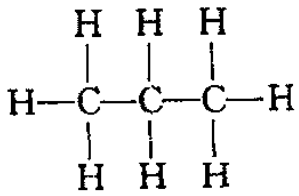
乙烷 CH_3CH_3



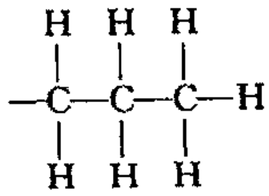
乙基 $-C_2H_5$



丙烷 C_3H_8

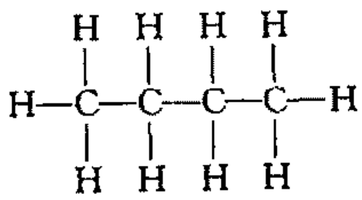


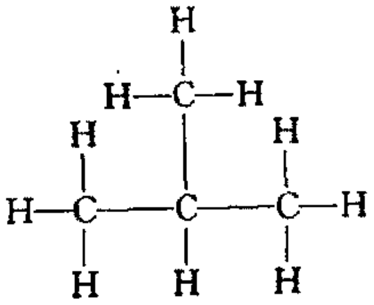
丙基 $-C_3H_7$



烃的异构体

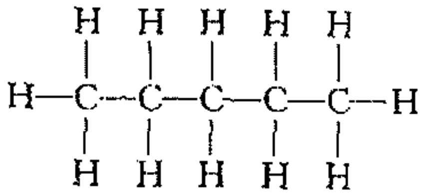
丁烷 (C_4H_{10})

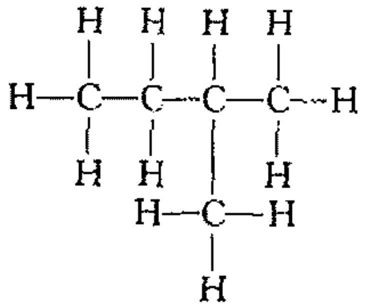


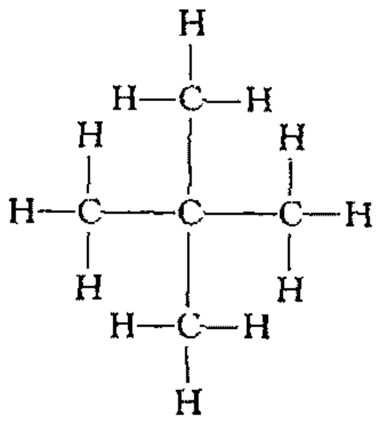


戊烷

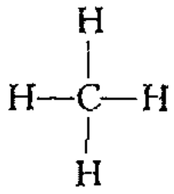
(C_5H_{12})



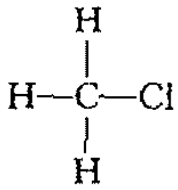




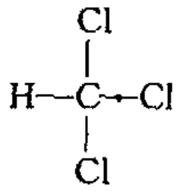
甲烷衍生物



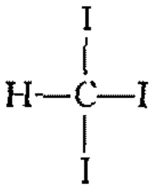
甲烷



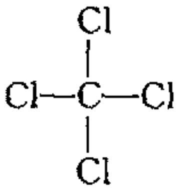
氯代甲烷



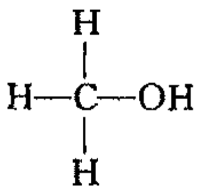
氯仿



碘仿

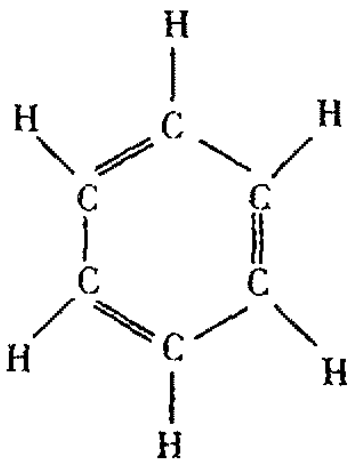


四氯化碳

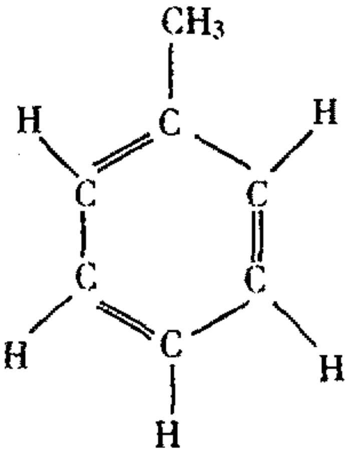


甲醇

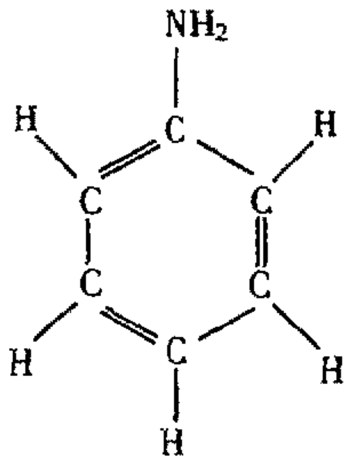
苯衍生物



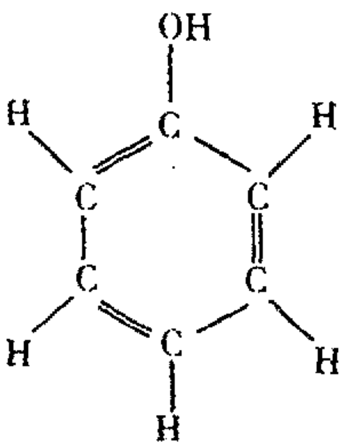
苯



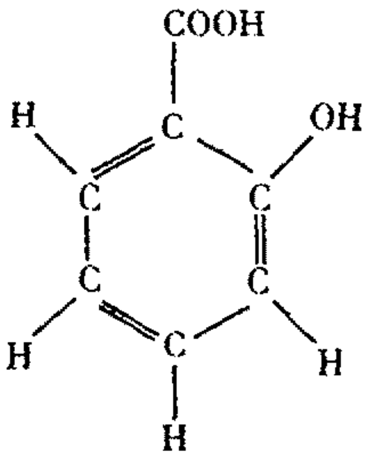
甲苯



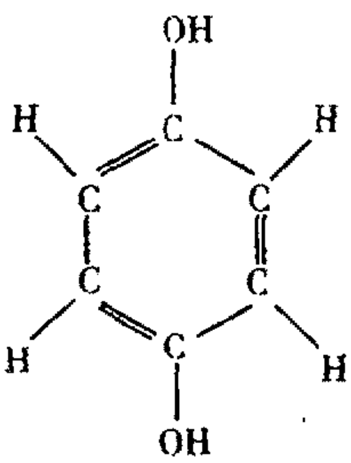
苯胺



苯酚(石炭酸)



水杨酸



氢醌

表中是用分子式及结构式表示一些最简单的烃及其衍生物

这些烃彼此之间的差异只是链中 H—C—H 单元的数目不同。这个系列直增至 $C_{50}H_{122}$。同分异构现象从丁烷开始出现。

同分异构体的数目随着分子中碳原子的数目增加而递增。丁烷有一个同分异构体；戊烷（C_5H_{12}）有两个；依此类推。丁烷和戊烷的同分异构体及其结构式如上表所示。这些式子显示出这类烃在结构上是开链的，而非闭链的。闭链称做环结构。

烃可形成许多衍生物，所谓衍生物即化合物中的氢原子被其他原子或原子团取代而成。上表中所列的几个甲烷衍生物表明了这类取代。同分异构体也形成衍生物，从而增加了众多化合物的数目。

苯类型的烃 开链烃特别见于石油之中。煤焦油是烃的另一个重要来源，但是从煤焦油得来的大多数烃其碳原子排列成环状，而不是链状。这些环通常具有 6 个碳原子。这些烃中最简单的是苯（C_6H_6）。通过列举几个苯及苯的衍生物，并附上它们在现代生活中的用途，以判断苯的重要性。

苯——强有力的溶剂，可用做发动机燃料
甲苯——用于制造炸药 TNT
苯胺——染料的重要原料之一
苯酚（石炭酸）——一种强消毒剂
水杨酸——药物的主要原料，如阿司匹林
氢醌——照相的显影剂
氯苯——用于制造杀虫剂
十二烷基苯——用于制造洗涤剂

这些环状结构化合物叫做芳香族化合物，而链状结构化合物则称为脂肪族化合物。

具有双键和三键的化合物 芳香族化合物不同于许多脂肪烃，在于连结成分子的键的类型有所不同。在链结构分子如甲烷分子中，碳原子与其他 4 个原子中的每个原子形成一个键（由一对共享电子对组成）。在这种情况下，碳可算作 4 价的。由于碳原子能联结原子的数目最多为 4，这样的化合物可称为饱和的化合物。

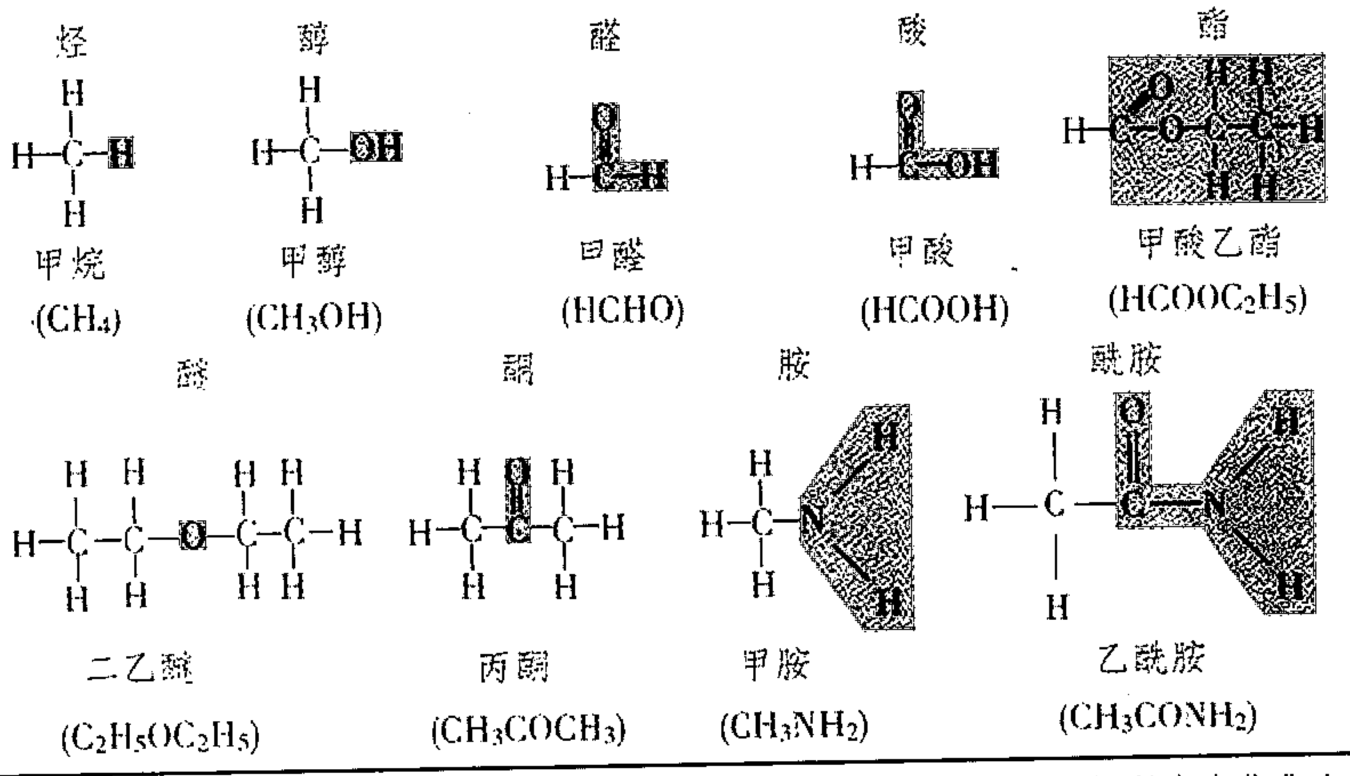
然而苯只有 6 个氢原子与 6 个碳原子相联结，因此每个碳原子只用一个价键联结一个氢原子。其余的 3 个键与其他的碳原子相联结形成苯环，而且碳原子之间每间隔一个碳原子有一双键。要形成这种键，碳原子必须共享两对电子，如 C∷C。双键也可以用两条短线表示为 C=C。3 键可用 3 条短线表示为 C≡C。

双键可以存在于链型化合物中，也可以存在于环形化合物中。具有这种键的化合物，称做不饱和化合物，因为如氢、氯及溴等元素可以打开这些键，并通过增加这些元素的原子来使碳的 4 个价键得以饱和。两个不饱和碳氢化合物乙烯和乙炔以及用氢原子使它们饱和的最终结果一并表示如下：

乙烯（C_2H_4）		乙炔（C_2H_2）	
$C_2H_4+H_2$	C_2H_6 乙烷	$C_2H_2+2H_2$	C_2H_6 乙烷

碳化合物的分类 化学家已经将碳化合物组织起来对之进行研究，很像组织元素对之进行研究，那就是把它们归类为各族。化学家还发现可以把全部有机化合物归类为为数不多的类别，并且可以把这些族看做甲烷（CH_4）烃的衍生物。

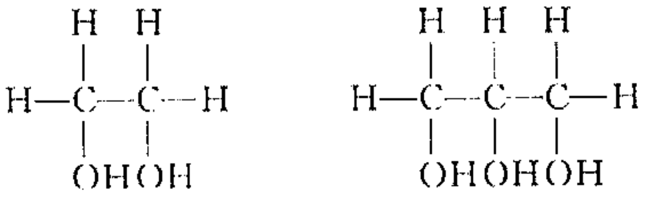
有机化合物的最主要的种类



这些是最主要的有机化合物类型的例子。每个类型有一识别这个类型的特征原子团，并可把所有这些化合物看做由甲烷烃衍生而来。例如，羟基（—OH）取代甲烷中的氢原子得出醇（羟基和其他特征基团以灰底的框表示之）。一个双键氧原子取代甲烷中的两个氢原子得出醛。如同比较醇和醛的结构所表明的事实那样，醛的名称也会使人联想到"缺氢的醇"。将另外一个氧原子加到醛上得出带特征机团 COOH 的有机酸；酯可以看做酸的盐，如同在甲酸乙酯中乙基（C_2H_5）取代了甲酸之特征基团中的氢原子。其他的特征基团将在本文中予以说明。

有机化学家已经学会为了制造新化合物如何利用每一个特征基团的性质,因此他能制备已知化合物的许多新衍生物。他能够设计一化学式,然后制造对应于那个化学式的化合物。

多种醇 大多数人已经听见过称做甲醇的木醇(CH_3OH)和称做乙醇的酒精(C_2H_5OH)。这些简单的醇具有在一端带有特征基团羟基(—OH),另一端连 H 或烃基的碳链。醇也可有多于一个的羟基。这类醇的两个例子如下:



乙二醇　　　　丙三醇

由于乙二醇有两个羟基称做二元醇。丙三醇为三元醇。醇也可以是支链类型,不是像乙二醇或丙三醇那样烃基在碳碳链的同一边,而是在两边,异丙醇(摩擦醇)即为一例。这个醇与正丙醇有相同的分子式(C_3H_7OH)。(参见:**醇**)

醛、酮和醚 当醇部分氧化时,就形成醛。最常见和最简单的醛是甲醛(HCHO),它主要是由甲醇的气相氧化而得到的。甲醛可用做防腐剂,用做研究生物用的动物标本防腐剂,也用做杀菌剂,以及用做制备酚醛树脂及其他塑料的重要原料。

酮是由带支链的醇如异丙醇($CH_3CHOHCH_3$)部分氧化而形成。如同在醛中一样,除去两个氢原子余下一个以双键与一个氧原子相联结的碳原子。丙酮(CH_3COCH_3)是最为人们所熟知的一种酮。虽然酮的活泼性次于醛,它们仍然是一些非常活泼的化合物。酮主要用做清漆溶剂。

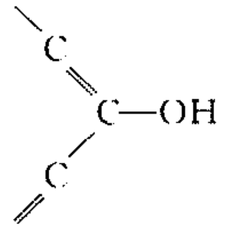
醚可以按下面的方式由两个醇分子形成:

$$\begin{matrix}C_2H_5OH\\C_2H_5OH\end{matrix} + H_2SO_4 \longrightarrow C_2H_5OC_2H_5 + H_2SO_4(\text{水合物})$$

硫酸(H_2SO_4)移走一分子水(H_2O),以灰底表示出来,并让 C_2H_5 与 C_2H_5O 相结合,—O—位于中央。二乙醚($C_2H_5OC_2H_5$)可用做麻醉剂。

两种类型有机酸 有机酸有两种类型。一类具 COOH 基(羧基),如醋酸(CH_3COOH),即醋中的酸。它通过酒精氧化或苹果汁中的果糖发酵制成。

另外一种类型具有如在苯酚(C_6H_5OH)中的酚基。这两类各自都出现在水杨酸中(HOC_6H_4COOH)中。每类有机酸的水溶液都是弱酸性的。这些溶液可以用碱中和、形成有机酸盐。



酚基

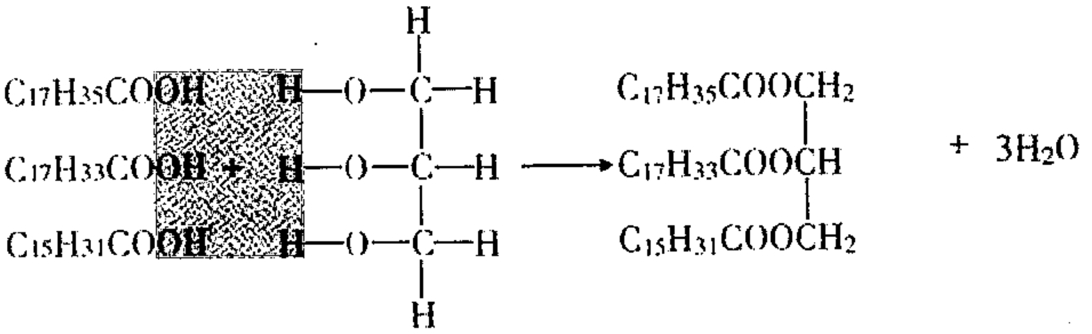
酯、胺和酰胺 成熟的水果——尤其是香蕉、橘子和菠萝——的气味是由于酯的存在。一些常见的与乙酸(CH_3COOH)形成的酯见下表:

名称	式子	存在于
乙酸乙酯	$CH_3COOC_2H_5$	—
乙酸丁酯	$CH_3COOC_4H_9$	香蕉
乙酸戊酯	$CH_3COOC_5H_{11}$	香蕉
乙酸辛酯	$CH_3COOC_8H_{17}$	橘子
丁酸乙酯	$C_3H_7COOC_2H_5$	菠萝

氢原子为 NH_2 基取代就形成胺。简单的取代出现在这样的一些例子中,如甲胺(CH_3NH_2),来自脂肪族烃甲烷,苯胺($C_6H_5NH_2$),来自芳香族烃苯。当有机酸中的羧基之—OH 被取代即形成酰胺,例如乙酰胺(CH_3CONH_2)。胺和酰胺是形成其他化合物的中间体。例如苯胺是许多染料的基础。

具有双作用基团的化合物 这些"族"基团在动、植物生命活动中和许多其他化学过程中参与极大数目的各式各样的化合作用。许多化合物具有一个以上的族基团,才可能有许多化合作用。甘氨酸是一个恰当的例子。甘氨酸被称做氨基酸,因为它既有一个羧基(COOH),又有一个起碱的作用的氨基(NH_2)。每个基团可与其化学性质相反的基团化合。因此甘氨酸可以端基对端基自身结合,也可以与其他碱性或酸性化合物结合。如前文水杨酸的化学式中所示的那样,水杨酸具有一个羧基(COOH)和一个羟基(—OH),二者之一或两个基团都能与一些化合物结合,形成药物或别的化合物。

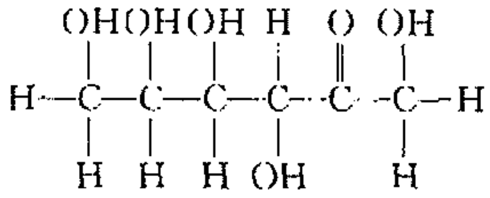
脂肪的化学特性 许多上述化合作用在脂肪、碳水化合物和蛋白质中都可发现。脂肪是甘油与高级酸如棕榈酸($C_{15}H_{31}COOH$)、油酸($C_{17}H_{33}COOH$)和硬脂酸($C_{17}H_{35}COOH$)化合而成的酯。一个典型的脂肪分子从酸和甘油中除去水(以灰底表示)形成酯,或脂肪:



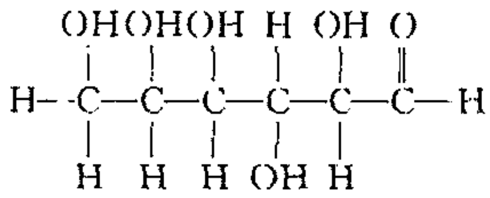
羧　　　　甘油　　　　酯

用碱(如氢氧化钠)处理酯,使复原成甘油并加 3 个钠离子到酸根上,生成 3 个肥皂($3C_{17}H_{35}COONa$)分子。这类过程在消化脂肪时发生于上部肠内。然后,消化产物转入血液中,并传输给体内细胞,再合成为身体的脂肪;或被氧化,产生二氧化碳、水和能量。在氧化过程中,脂肪产生两倍于碳水化合物或蛋白质所产生的能量。

碳水化合物和蛋白质 植物的光合作用产生碳水化合物(糖、淀粉、纤维素)。植物糖($C_6H_{12}O_6$)是由二氧化碳和水形成的。下面的分子式各表示两个简单糖中的一个:



果糖



葡萄糖

式中 H 和 OH 基出现的总数足以形成 6 个水($6H_2O$)分子;因此碳水化合物的名称的意思是"碳的水合物"。这两个分子的差别仅仅在于 C=O 的位置不同。它们二者都有数个醇羟基,只不过葡萄糖是醛,而果糖是酮。如果从一个这样的分子除去一个 OH,从另外一个分子除去一个 H,这些分子便可在空出来的键上连结。用于使食物变甜的蔗糖($C_{12}H_{22}O_{11}$)即按这种方式形成的。

如果 25 - 30 单糖单元连接起来,它们形成淀粉($C_6H_{10}O_5$)x分子。100 至 3000 个大量的单糖连接在一起就形成一个纤维分子($C_6H_{10}O_5$)y。

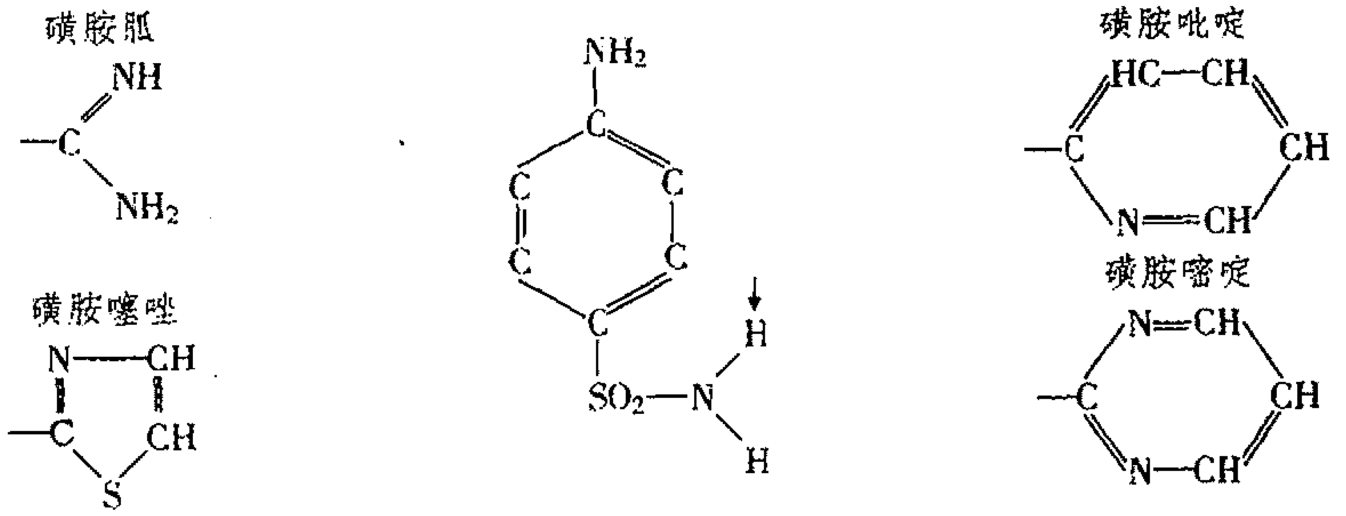
所有活细胞和组织的结构都由蛋白质构成,而许多不同种类的蛋白质都由氨基酸键合在一起成为长链或大的球体而形成。氨基酸是用酸性的 COOH 基和碱性的 NH_2 基键合的,这在氨基酸中已解释明白。在细胞组织中也可以含有脂肪。

在消化过程中,蛋白质被酵素分解成氨基酸和其他成分。这些分解物被吸收并重新组合成身体所需要的蛋白质,或者被氧化以提供能量。

有助于健康的维生素和药物 体内细胞具有这样的能力:它们吸收已消化了的脂肪、蛋白质(氨基酸)和碳水化合物(葡萄糖),并将它们转化成细胞的一些成分,以代替损坏了的或陈旧了的部分,或者制造新增的细胞。要想正常地进行这项工作,细胞必须求助于它们不能产生的催化剂。这些催化剂称做维生素。各种不同的维生素,它们的作用就像一些在各种锁中进行恰当地转换位置的各种钥匙,而与食物供给的变动或由于身体处于健康或疾病状态所引起的载液变化无关。

药物以一定的化学途径与组织和人体内的过程相作用,对健康也是有帮助的。因为相互间的作用常常是如此微妙,以致药物分子中微小的变化对其所起的作用有深刻的影响。下面提供一类从初期的对氨基苯磺酰胺衍生得来的磺胺药物,作为这方面适当的例子。

对氨基苯磺酰胺



上式中左边和右边的每个磺胺药是其母体对氨基苯磺酰胺中箭头所指的氢原子由所列的链取代而制成的。

合成品——纤维、塑料和橡胶 有机化学家已经学会生产许多有价值的合成物质。化学家通常选择一个或几个适当的具有双作用性能的分子,将它们连结(聚合)成为称做聚合物的非常大的分子网状物,聚合物由一些巨大的链组成,当供给足以使这些链解离的热量时,它们便互相分开。冷却时,这些链便又牢固地缠结在一起。由聚合物制成的产品当中有合成纤维:人造丝、尼龙、聚酯、丙烯纤维和醋酸纤维。称做塑料的物质采用各式各样的加工方法成型为物件。塑料有两大类——热塑性树脂和热固性树脂。合成橡胶通过一种所谓硫化作用能够使它变得坚韧。

苯 BENZENE 见:有机化学

醇 ALCOHOL

被称为醇的这类有机化合物是广泛应用于科学和技术中的一类重要化学物质(见:有机化学)。醇的名称来自古阿拉伯字 al-kuhl,义为"涂眼睑的粉末"。这个名称后来就被用于所有含酒精的化合物。它们包括饮料如葡萄酒、啤酒和威士忌。在近代化学中 alcohol 通常指一种类型化合物——乙醇。它也称为酒精或谷酒。

人类很早就发现了醇。他们发现某些谷物、水果以及糖类发酵时,产生一种致醉的液体。今日制造各种含酒精的饮料是一重要工业。蒸馏和出售含酒精的饮料直接影响一个国家的经济。美国从制造和出售饮用酒精征收的税款每年约 50 亿美元。大多数其他国家征收类似的税款。政府法令对饮用酒精的质量和纯度保持着严格的控制。如果这些饮料不符合所规定的标准就不能合法地出售。在美国饮用酒精按标准酒精度出售。例如 100 度酒精在 15.6℃含 50%绝对酒精。

酒精对身体有某些生理效应。它特别对中枢神经系统起作用。过量时,将养成习惯,会导致所谓酒精中毒的状态。脑、肝、肾等器官会由于过度沉溺于酒精而受到损害,还可能导致精神损伤。一些私人机构致力于影响立法机构审议关于取缔制造和出售酒精的事项。

醇的主要价值不是用作致醉的饮料。它的重要性在于制造几千种产品。它的许多用途列于下面的表中。

醇的生产

种类	生产方法	用途
甲醇(木醇)	木材干馏。也由氢和一氧化碳在高压下合成。	用做脂肪、油、树脂和硝化纤维素的溶剂。制造染料、甲醛、防冻溶液、特种燃料和塑料。
乙醇(酒精)	糖、淀粉或亚硫酸盐废液发酵。由乙烯或乙炔合成。乙烯直接水合。	用做漆、涂料、清漆、胶、药物、炸药等产品的溶剂、还作为制造高分子量化合物的"结构单元"。
异丙醇	裂化气的丙烯水合。也作为某些发酵过程的副产品。	用做油、树胶、生物碱和树脂的溶剂。制造丙酮、肥皂和防腐溶液。
正丙醇	作为丙烷和丁烷混合物空气氧化的副产品。	用做漆、树脂、油漆、胶片和蜡的溶剂。也在制造丙酸、增塑剂中用做制动液。
丁醇(n-丁醇)	糖或淀粉发酵。也用乙醇或乙炔合成。	用做硝化纤维素、乙基纤维素、漆、脲甲醛塑料和脲三聚氰胺塑料的溶剂。液压液稀释剂及药物萃取液。
异丁醇	由一氧化碳和氢在高压下合成。	用做蓖麻油基制动液的溶剂。制造脲树脂中作为正丁醇代用品。
二级丁醇	石油裂解中形成的1-丁烷水合	制造其他的化合物如甲乙酮。硝化纤维素中的溶剂。生产制动液、特种润滑酯。
三级丁醇	从石油裂化得来的异丁烯水合。	作为洗涤剂中的湿润剂。用做药物及清洁剂的溶剂。
戊醇	由发酵制酒精的副产品杂醇油分馏而成。	许多天然与合成树脂的溶剂。稀释制动液、油墨及漆。用于药用产品中。
乙二醇	乙烯氧化成乙二醇。也可由甲醛与甲醇制备的甘醇甲酯加氢而成。	防冻液、防冻剂及制动液。生产炸药中用。染色剂、油、树脂、瓷釉、墨水及染料的溶剂。
二乙二醇	制造乙二醇的副产品。	染料及树脂的溶剂。防渗漏剂。用于气体干燥中。黏着的油墨之软化剂。
三乙二醇	制造乙二醇的副产品。	消毒剂及减湿剂。制造树脂和增塑剂。
甘油(1,2,3-丙三醇)	制肥皂中处理脂肪得到。从丙烯合成。通过发酵制造。	在醇酸树脂、炸药及玻璃纸中用。烟草湿润剂。
季戊四醇	乙醛和甲醛缩合。	在合成树脂中用。作为四硝酸酯炸药用。也作为治疗心脏病的药。
山梨醇	用氢还原糖,一般用玉米糖。	用于食物与药物和化学生产中。纸、织物、胶液及化妆品的调节剂。树脂制造中醇的来源。
环乙醇	酚的催化氢化。或环乙烷的催化空气氧化。	用于尼龙生产中的化合物之中间产品。肥皂、合成洗涤剂之稳定剂及均化剂。溶剂。
苯乙醇	由苯及环氧乙烷合成。	主要用于香料中。

甲醇,或称木醇,原来由干馏木材制备而成。现在一般用合成方法,即将压缩的氢和一氧化碳通过催化剂,然后冷凝反应产品来生产。它主要用于制造变性酒精。

变性酒精是已经在其中加入其他物质使其不适于饮用的酒精。由于它不作为饮料出售，因此变性酒精不会课以重税。变性酒精是按照政府规定制造的。木醇和苯是两种最普通的变性添加剂。也可以加诸如吡啶、邻苯二甲酸二甲酯及烟碱等物质使酒精变性。

从化学上来分析，醇的定义是烃的羟基衍生物。羟基用符号 OH 表示。羟基包含一个氢原子和一个氧原子。当烃分子中的一个氢原子为一个羟基取代时，就会产生一个醇分子。

一个乙烷分子可写作 CH_3CH_3。倘若第二个 CH_3 中的一个氢为一个 OH 所取代，乙烷分子便成为一个乙醇分子，CH_3CH_2OH。

醇可按照每个分子中 OH 基的数目进行分类。具有一个羟基的乙醇为一元醇。乙二醇($HOCH_2CH_2OH$)有两个羟基为二元醇。三元醇如丙三醇或甘油($CH_2OHCHOHCH_2OH$)有 3 个羟基。六元醇有 6 个羟基，而多元醇有多个羟基。

工业上基于以羟基取代氢原子的原理来制醇。直到 1930 年通过谷物如玉米、麦、大米和大麦的简单发酵来实现这个过程。其他的醇由淀粉和各种糖(主要为赤糖糊)的发酵制得。

在美国所生产的大多数工业酒精由合成法制备。通常由来自天然气矿床或石油裂解过程的乙烯气合成。

甲醇 METHANOL

甲醇又称做木醇和木精。甲醇是一系列称做醇的有机化合物中最简单的一种。1661 年由波意耳发现，1831 年由杜马和佩利若进行了更加细致的研究。1858 年贝特洛合成了甲醇。

甲醇的分子式为 CH_3OH，它是木材被破坏蒸馏所生产的主要醇。甲醇的近代制备方法基于在催化剂存在下一氧化碳气体与氢的直接化合。与从木材蒸馏所得到的不纯产品对比之下，合成的甲醇实质上是化学纯物质。

在化学合成中甲醇是一种重要的物质。它的衍生物大量用于合成数目巨大的化合物，其中包括很多重要的合成染料、树脂、药物及香料。大量被转化成用于染料的二甲苯胺和用于合成树脂的甲醛。它还用做马达防冻剂、火箭燃料，并用做普通溶剂。从木材生产的甲醇主要用来使乙醇不适于饮用。

甲醇是无色液体，在 64.96℃下沸腾，在－93.9℃下凝固。它与空气形成爆炸混合物，燃烧呈不发光的火焰。甲醇剧毒；饮用含有甲醇的混合物已发生过多起目盲或死亡事件。

甲醛 FORMALDEHYDE

有机化合物的醛族中最简单的一个成员，甲醛是无色、有刺鼻气味的气体，易溶于水或乙醇中。它大量用于各种化学制造过程中，而最熟悉的用途或许是用做保存生物标本的甲醛溶液。这个物质的烟雾会刺激鼻子和眼睛。环境保护局已将甲醛列入致癌物质。

在制造过程中，这个化合物用于使各种树脂硬化成为塑料。甲醛还是强杀菌剂。它可以作为气体用于消毒房间，并用于保存尸体。40%的甲醛水溶液和少量甲醇称做福尔马林。将土豆燕麦及小麦这些种子植物浸于 1 份水、240 份福尔马林中能够防止真菌引起的病害。甲醛还是食物防腐剂，但是许多政府不允许这样使用甲醛。

甲醛是一个碳原子、一个氧原子和两个氢原子的化合物($HCHO$)。一种不同的形式，多聚甲醛是由同样三种元素组成的，但却是白色粉末。这种粉末是以甲醛的 50%水溶液开始，连续分段真空蒸馏制造的。甲醛系使甲醇蒸气和空气通过加热的铜或铂来制造。金属作为催化剂，将部分醇和空气结合起来，转化成甲醛气体。此气体被收集于醇或水中。

氯仿 CHLOROFORM

化合物三氯甲烷($CHCL_3$)，通常称做氯仿，是不易燃、无色、比重大的液体，具有好闻的似乙醚的气味。它主要在工业中用来溶解有机物质、碘和硫。德国于 1831 年，法国和美国几乎同一时间发现了氯仿。此后不久，它被用于治疗哮喘病。1847 年爱丁堡一位苏格兰医生辛普森爵士首次用它做麻醉剂。

氯仿作为外科手术过程的麻醉剂，其效力 5 倍于乙醚。然而，用它做麻醉剂，安全范围窄。约在 1940 年它被其他的更安全的化合物所取代。它对大多数器官，尤其是心脏、血管、肝和胰肾都有抑制作用。

氯仿用于提取和纯化青霉素、从废物中回收脂肪，并用来溶解树胶、生物碱、蜡、树脂及橡胶。它曾一度用于咳嗽糖浆、搽剂、止痛药及缓痛剂中。自从 1976 年以来氯仿已被美国环境保护局列入致癌物中，并已被禁止用于药物、化妆品及食物产品中。

液体氯仿的相对密度在 25℃下为 1.4795，其蒸气较空气大约重 4 倍。氯仿在 61.2℃下沸腾，并在－63.5℃熔化。氯仿几乎不溶于水，但却非常易溶于乙醇、乙醚、丙酮、汽油及其他有机溶剂中。

氯仿以前由丙酮和漂白粉制造。现在则通过甲烷与氯的光化学反应来制造。在这个反应中也产生四氯化碳(CCl_4)和二氯甲烷(CH_2Cl_2)。

多氯化联苯 POLYCHLORINATED BIPHENYL (PCBs)

环境的有毒污染的重要根源之一是多氯化联苯或 PCBs。它们是高度稳定的抗拒天然分解过程的有机化合物。它们有毒，并且往往会积累于动物组织中。

PCBs 是几种液体的、树脂状的或结晶的有机化合物的任一种。它们通过用氯取代芳烃联苯($C_6H_5C_6H_5$)中的氢原子来制备。它们曾用于各种工业用途中。PCBs 的混合物曾被用做润滑油、传热液及变压器的耐火电容器液。它们还广泛用于电子工业中。

PCBs 主要由排放的工业废水引入环境中。一旦进入水中，它们便通过食物链，累积在食用它们的动物或人的组织中，引起癌症、怪胎和其他失调现象。

1977 年美国环境保护局禁止排放 PCBs 入环境中，并在 1979 年完全禁止 PCBs 的生产。然而，较大量的 PCBs 仍然在使用，主要作为电容器和变压器的散热器使用。此

外，环境仍然被一些在取缔之前已排放的和已经不合法地倾倒和事后偶然溢出来的 PCBs 所污染。

20 世纪 80 年代为了发展可解毒或破坏残余的 PCBs 的有效方法，开始了大规模的研究计划。由于 PCBs 的毒性和持久性取决于它们的氯原子的数目和位置，大多数科学家致力于寻求除去这样的氯原子的途径。截至 20 世纪 80 年代中期许多有希望的化学去氯的计划继续在发展中。人们还发现某些微生物能够使简单的 PCBs 降解，尽管这个过程在环境中进展缓慢。

碳水化合物 CARBOHYDRATES

这是很大的一类完全由碳、氢、氧元素组成的天然的有机物质，包括糖、淀粉和纤维素，其氢氧比例完全和水相同。这样的物质称为碳水化合物。

绿色植物用日光的能把二氧化碳和水转化成为碳水化合物。这个过程称为光合作用。它向大气释放氧，它把光能改变为化学能，储存在简单的碳水化合物里。植物把简单的碳水化合物转化成为许多种物质，例如在甘蔗和甜菜里含量特别丰富的普通的食糖——蔗糖；植物最重要的结构成分纤维素；储存起来的淀粉；以及其他各种各样起着基本结构成分作用的物质。

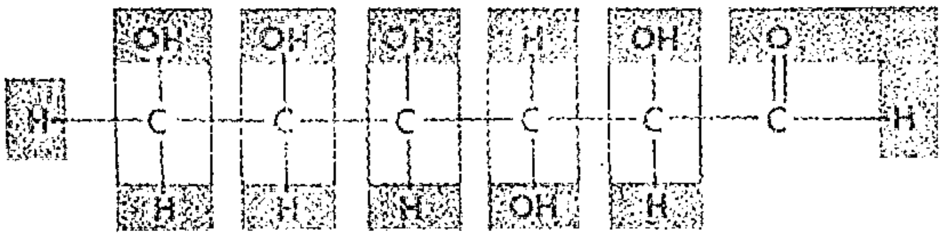
碳水化合物可以分成单糖、双糖和多糖三大类。单糖的分子含有 3 至 9 个碳原子，最常见的是 5 个和 6 个碳原子。

最重要的两种单糖是葡萄糖（又称右旋糖、玉米糖）和果糖。两个单糖分子互相连接成为双糖。作为双糖的蔗糖含有互相结合在一起的一个分子葡萄糖和一个分子果糖。乳糖和麦芽糖也是双糖。多糖是大分子，例如纤维素、淀粉、糖原。它们往往含有多达 1 万个单糖单位。

许多碳水化合物是同分异构体。它们的各个原子的数量相同但结构不同。例如葡萄糖、果糖、半乳糖（乳糖的单糖部分）都是分子式为 $C_6H_{12}O_6$ 的同分异构体。

在多数动物身上，碳水化合物提供了一个可以迅速使用的能量储存器。在高等动物血液里循环的葡萄糖被细胞吸收，参加了为代谢过程提供能量的生物化学反应。糖原是由葡萄糖分子的分支链组成的。它被储存在高等动物的肝和肌肉里，在肌肉活动的时候分解为葡萄糖。另外，多糖在某些动物身上起着结构成分的作用。例如类似纤维素的甲壳素，它组成昆虫以及被科学家归在节肢动物门的其他动物的外骨骼或者硬壳。这些动物包括甲壳动物和蛛形纲动物。

核糖和脱氧核糖这两种单糖见之于一切细胞。它们分别成为核糖核酸（RNA）和脱氧核糖核酸（DNA）的碳水化合物组成部分。



葡萄糖分子是由碳、氢、氧三种原子形成的。分子里所含的氢和氧的比例和水（H_2O）一样。分子的其他部分是碳的框架。

葡萄糖存在于水果和蜂蜜中。它也存在于两种最普通的天然存在的双糖——蔗糖和乳糖中。葡萄糖是纤维素、淀粉和糖原等多糖的惟一的结构单元。作为商品，它是用玉米淀粉水解的方法大量生产的。大多数葡萄糖是以玉米糖浆的形式出售的，而结晶形式的葡萄糖有时以右旋糖的名称出售。果糖是双糖蔗糖的成分之一，它也以非化合的形式存在于蜂蜜、苹果和番茄中。它是从蔗糖制取的，用于食品工业。

乳糖由葡萄糖和半乳糖组成，是人们饮食中最普遍的糖之一。它约占一切动物的乳的 5%。

淀粉和纤维素

淀粉和纤维素是最著名的两种多糖。淀粉是由葡萄糖单位组成的一类植物多糖。多数淀粉由两类亚单位组成。一类是线型分子的直链淀粉；一类是含支链分子的支链淀粉。对人说来，淀粉必须先分解成为一个个的葡萄糖单位，才能被人利用。这个过程是在口腔里由唾液里的淀粉酶开始的，在肠道里还在继续进行。经淀粉酶的作用产生麦芽糖。它水解后成为葡萄糖，通过肠壁被人体吸收。

纤维素是多数植物的基本的结构材料。它是由 3 000 或者更多的葡萄糖分子组成的大的线形分子。纤维素在商业上有广泛的用途，包括从木料制成锯材和纸，以及从棉花制成布。

糖原是又一种重要的多糖。它存在于一切动物组织，是动物体内储存碳水化合物的主要形式。糖原是葡萄糖单位组成的。它像淀粉，但它是更加高度分支的。

淀粉含量丰富的许多食物，例如马铃薯、米、面包、食用面糊，曾经被认为是使人发胖的。其实 1 克淀粉含有的热量只有 4 卡，和蛋白质相同，比 1 克脂肪所含的热量（9 卡）要少。许多营养学家和运动科医生现在赞成他们称为复合碳水化合物的饮食。这种饮食的特点是淀粉所占的比例要比多数人所习惯的高。有些营养学方面的专家现在认为复合碳水化合物是比蛋白质和脂肪效率更高的营养物质的来源。它们的消化所产生的有毒的副产物少些。肾和肝的代谢工作也少些。

聚合物 POLYMER

名词 polymer 是希腊文 poly 和 meros 的复合词，意思是"许多部分"。聚合物是由许多重复的小的称为单体的分子结构部件组成的大分子。单体互相连接形成相对大的分子。这个过程称为聚合。

聚合物组成生物体的许多物质。蛋白质是氨基酸的聚合物；纤维素是糖分子的聚合物；核酸，例如脱氧核糖核酸（DNA），是核苷酸的聚合物。许多合成材料，包括锦纶、纸、塑料，以及橡胶，也是聚合物。

许多不同的单个的分子结合在一起成为有用的聚合物。例如称为特氟隆的不粘锅之类炊具的涂料，是由氟和碳两个原子组成的单体制成的。有机玻璃是由一种由碳、氢、氧组成的有机单体甲基丙烯酸酯制成的。用于制作密封材料以及其他用途的硅聚合物是由含硅原子的无机单体制成的。

聚合

聚合物是由单体通过两种方式造成的。一种是链型聚合，

或者说加成聚合;另一种是缩聚。在链型聚合里,单体溶解在溶剂里(这溶剂以后是要除去的)。这些单体通过加成反应迅速地结合在一起而不丢失任何原子,因此聚合物的基本分子式和单体是一样的。缩聚是缓慢的逐步的反应。它在连接单体的时候产生一些副产物,因此丢失一些原子或者原子团。多数缩聚是两种或者更多种单体的一类共聚合。

结构

一个聚合物里单体数量的多少确定聚合物的所谓聚合度。在单体数量极大的时候就说它有一个高聚合度,因此称它为高聚物。

另外还有许多方式描述聚合物。例如均聚物是只由一种单体组成的。常被称为 PVC 的聚氯乙烯就是完全由含有 6 个原子的氯乙烯单体组成的均聚物。共聚物与均聚物不同,它是至少由两种单体组成的。有的时候单体在聚合时结合的顺序完全是随机的。这样产生的分子称为随机共聚物。嵌段共聚物则是一段一种单体间隔一段另一种单体的连续的线形结构。接枝共聚物是一种单体的线旁边接上由另一种单体组成的侧链。

像建筑用砖一样,单体以不同的方式连接,形成线形聚合物支链聚合物,或者网状聚合物。线形聚合物是单体互相连结形成的一条长链。例如聚氯乙烯树脂就是线形聚合物,它含有 900 至 1 300 个氯乙烯分子。它是通过用催化剂处理单体得到的。支链聚合物是直链里的一个单体与一个分离的单体或者另外一个直链连接形成的。其结果就像是一条有少数分支的线。

在分子的许多随机排列的分支互相连接的时候,形成链的片段的三维的网。这种聚合物称为交联聚合物或者网状聚合物。这种复杂的微结构往往造成塑料、纤维,以及泡沫状或者橡胶状的材料。聚合物化学家可以用控制单体的类型、聚合度,以及分支和交联的数量制成为特种用途设计的聚合物材料。

撰文:Ivan Amato

塑料 PLASTICS

很难想像一个没有塑料的世界会是什么样的。在曾经研制的多种多样材料当中,塑料可以用来模仿,甚至替代诸如金属、木材、玻璃、瓷器、石料、布、橡胶、珠宝、胶、卡纸板、漆以及皮革等形形色色的材料。希腊文 plastikos 一词的意思是"可以模塑的"或者"容易成形的"。塑料在加热成为液体或者半固体形态的时候,可以模塑成为差不多合乎任何需要的形状,而在冷却以后则成为坚硬的固体。

现在有多达 50 种或者更多种不同的塑料。随着研究工作的进展还将研制出新的塑料。不同的塑料用于不同的需要,但它们多数都坚固、耐久、轻便、而且抗腐蚀。它们往往比别的材料便宜,而且可以做成各种各样的颜色。

塑料也是良好的电和热的绝缘体。它们的多面性、耐久性和低廉的价格使它们成为工业和手工艺部门广泛应用的理想材料。因为同样的理由,塑料在许多应用方面已经代替了金属、木材、玻璃,以及其他材料。

工业生产的许多普通的以及不那么普通的塑料已经进入差不多每一个行业。例如,因为塑料轻,不会生锈,常用来代替本来是用金属制造的物品。越来越多的汽车部件,例如前灯、保险杠、侧板,是用塑料制成的。无线电设备、电视机和计算机的外壳可以完全由塑料模塑而成。各种保护性的头盔,不论是打橄榄球用的,打棒球用的,建筑工地用的,还是战场上用的,都是塑料制造的。塑料轻,强度高,使它成为航空航天工业必不可少的材料。

像玻璃那样的塑料用来制造透镜、反光镜、服装珠宝饰物、假牙、假眼、装软饮料的瓶子、牛奶瓶、装饰用的壁纸,以及家用器具、汽车和商业机器里的活动部分。塑料树脂用于制造防湿的袋子,不会收缩的毛线,以及总是保持挺括的衣领。

塑料还可以用来制造可供各种用途的织物,杯盘等餐具,不粘的炊具,涂料和胶粘剂,建筑材料,以及布。聚苯乙烯是种像雪似的泡沫塑料,不但制造商熟悉,手工业者也熟悉,它常被用来制造新的装饰物。这是一张长长的清单,而且看来塑料的新的应用还将与日俱增。

合成塑料的发展

在获得最早的合成塑料以前的几个世纪里,有几种天然存在的物质已被用来作为塑料材料。这些材料包括杜仲胶、虫胶和动物的角。杜仲胶是用杜仲这种树的汁液制成的。虫胶是用一种小的介壳虫的分泌物制成的。角在使用以前必须先"增塑",或者把它放在水里煮沸,或者浸泡在碱性溶液里使它软化。

重要的塑料及其用途

丙烯酸塑料。 模塑材料,窗用玻璃。
环氧化合物塑料。 保护性涂料,胶粘剂,层压材料,复合材料。
密胺塑料(氨基塑料)。 模塑材料。
锦纶。 丝,纤维,刷毛,工程上的应用。
酚醛塑料。 模塑材料和层压材料,胶粘剂,铸塑的片、棒和管子。
聚酯(饱和的)。 织物,食物包装,模塑材料,工程上的应用。
聚酯(不饱和的)。 层压材料和模塑材料,保护性涂料,铸件。
聚乙烯。 照相软片,压出管,板。
聚苯乙烯。 模塑材料,泡沫树脂。
聚氨酯。 保护性涂料,胶粘剂,泡沫树脂。
聚氯乙烯。 照相软片,板,压出管,铸件。
聚硅氧烷。 橡胶混合物,模塑材料,保护性涂料,涂料,油漆。
脲甲醛塑料(氨基塑料)。 织物处理剂,模塑材料,泡沫树脂。
乙烯基塑料(有几种类型)。 保护性涂料,压出管,照相软片,模塑材料,泡沫树脂。

最初的合成塑料是用植物材料纤维素制成的。1869 年美国的印刷工人和发明家 J. W. 海厄特发现硝酸纤维素

可以用来作为象牙的廉价的代用品。它可以用添加樟脑增塑。称为赛璐珞的这种新材料在大约 30 年的一段时间里是惟一有商业价值的塑料。它被用来制造眼镜架子、梳子、台球、衬衣领子、扣子、牙托和照相软片。在 20 世纪即将开始之际，在法国和德国生产了酪蛋白塑料。它是用甲醛处理酪蛋白生成的。这种塑料虽然至今仍被纽扣制造者使用，但在别的方面已无多少价值。

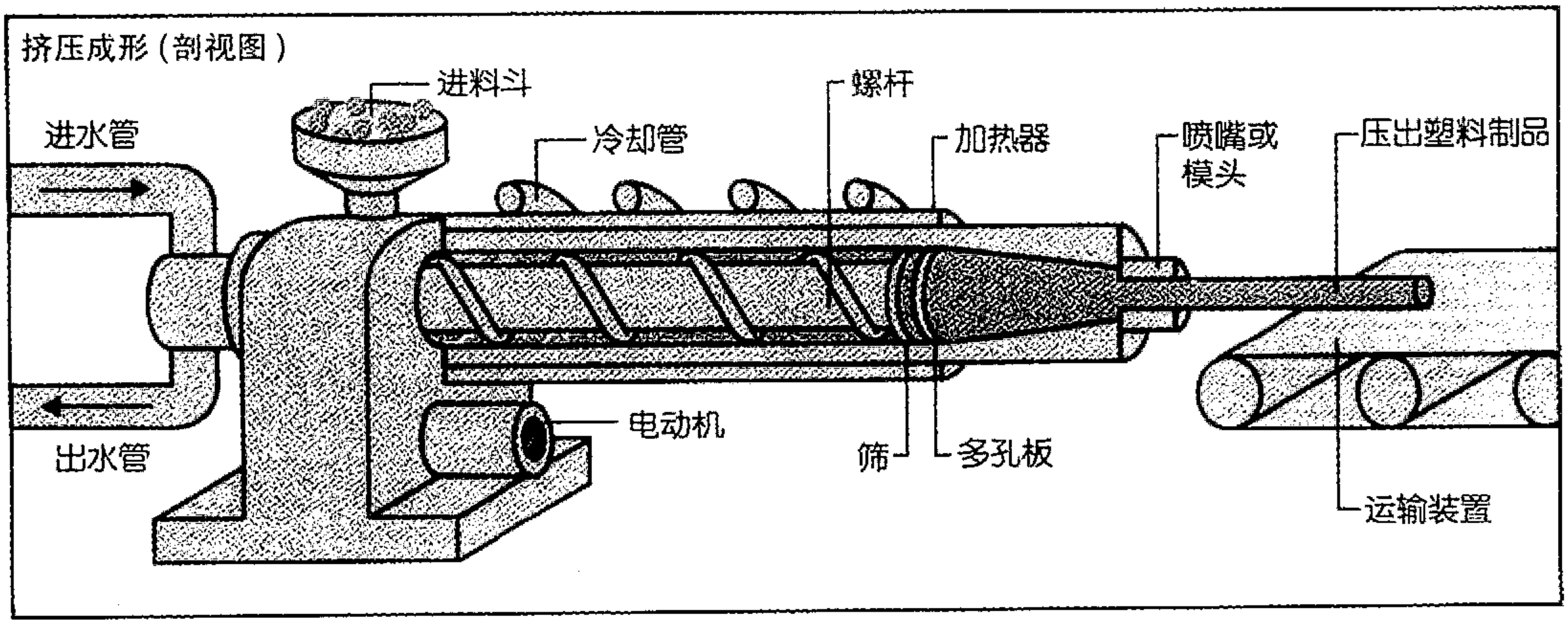
1909 年，比利时-美国化学家 L. H. 贝克兰研制成功了酚醛。这是第一个完全用合成材料制成的塑料。这就是酚醛树脂，亦称电木。这种酚醛材料现在仍在使用。它们用于建筑部件，电路装置，汽车变速器和动力制动器，电话继电器系统，以及电开关装置。

贝克兰研制成功酚醛树脂是塑料工业开始的标志。从 20 世纪 20 年代后期至第二次世界大战时期，对材料的需求剧增。在此期间许多最重要的材料投入工业性生产。它们当中包括乙烯基塑料族中主要成员聚氯乙烯；如今应用最广，特别是用于包装的低密度聚乙烯；可以制造成像玻璃那样透明的丙烯酸塑料；特殊多能的塑料聚苯乙烯；以及非常结实和耐用，当初是作为纤维的代用品研制的锦纶。称为高弹体的合成橡胶的制造常常被认为是塑料工业的一个部分。

组成

许多塑料现在是用石油和煤的裂解产物制造的。石油是制造塑料的材料的主要来源。

分子组成 一切天然的和合成的塑料因为都含有碳原子，所以它们是有机化合物。许多碳原子像一条链子那样互相结合，形成一个极长的分子的"骨干"。这种长链分子被称为聚合物，英语作"polymers"源自希腊文，意思是"许多"的"poly"和意思是"部分"的"meros"。



挤压成形技术用来连续生产管子、各种形式的片段、压片和膜。塑料颗粒在可以加热或冷却的长长的套筒里被熔融，受到套筒里转动的螺旋运输器的挤压。螺杆推动塑料通过喷嘴。喷嘴的阻力可以通过带筛的多孔板加以调节。后者还使熔融的塑料均匀，并滤去不需要的物质。

一个聚合物含有大量在链上不断重复的简单的分子。每一个这种简单的分子称为单体。许多单体结合，或者说聚合，成为聚合物链。例如许多丙烯单体结合成为聚丙烯。(许多塑料，但不是全部塑料，头上有个聚字，这说明塑料是聚合物材料。)如果结合在一起的有两种或者更多不同种类的单体，由此形成的聚合物称为共聚物。(参见：**聚合物**)

聚合物化学家知道，一种塑料物质的性质受聚合物分子的形状和化学结构的影响很大。这些科学家在他们的研究工作里有时试着改变聚合物链的形状或者发明新的聚合物，创造具有人们所需要的某些性质的塑料。改变塑料的聚合物分子可以影响塑料的例如抗热、不易磨损以及柔软等特性。

树脂和其他成分 树脂和塑料两个词常常当做同义词看待，但它们是不同的。树脂是没有完工的原材料，塑料是成品材料。树脂可以制成各种形状，包括浆、粉末、薄片或者丸。

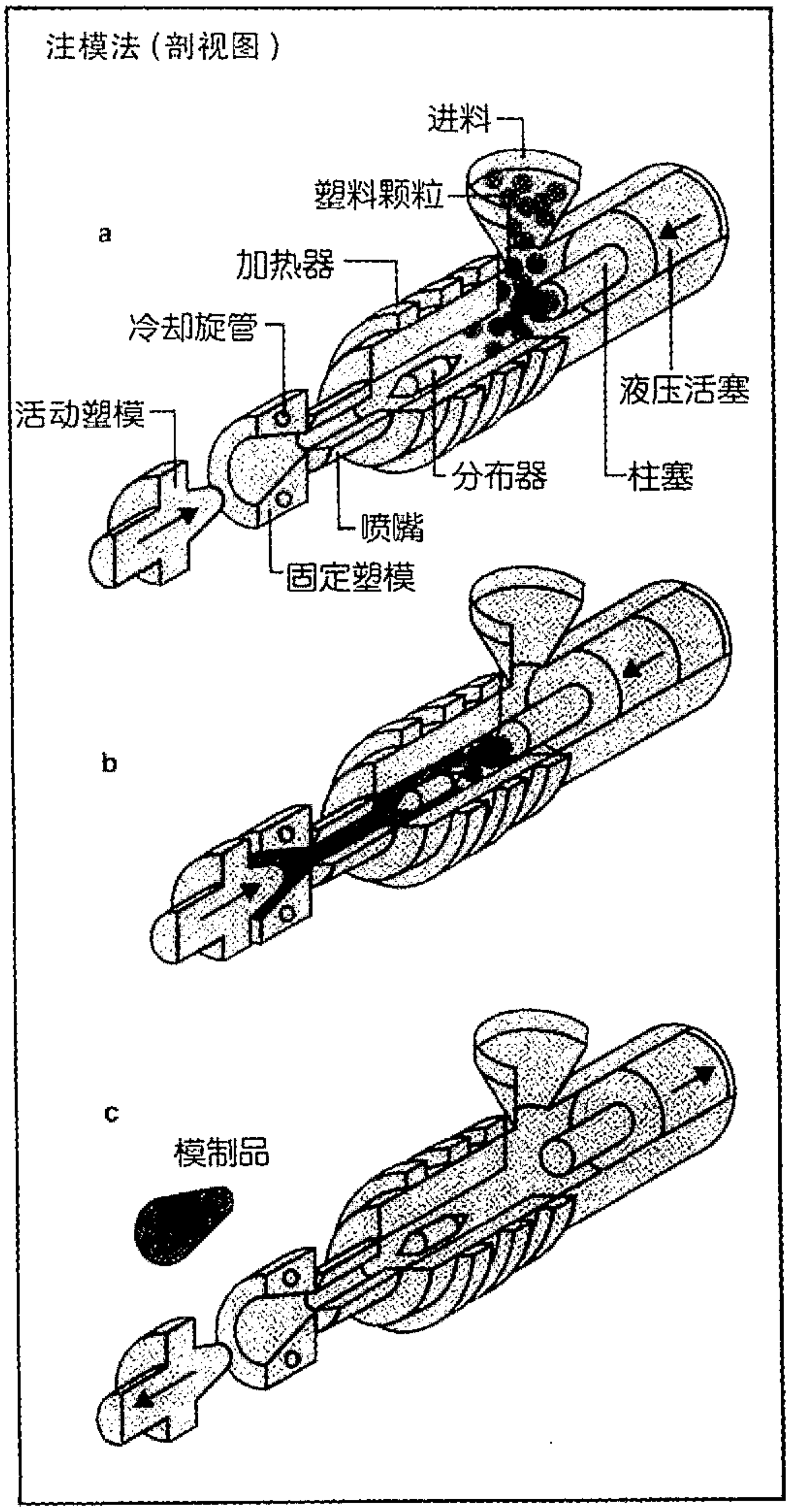
虽然树脂可以独立地制成塑料物品，但更多的情况是增加其他的成分成为复合物。这些增加的成分一般称为添加剂。它可以或者帮助模塑塑料物品，或者使成品增加新的重要的性质。通常使用的添加剂包括填料、增强剂、增塑剂、稳定剂、着色剂、阻燃剂、防烟剂以及操作助剂。

填料是廉价材料，树脂里添加填料主要是为了降低成本。有些填料只是用来扩展树脂，但是有许多填料改善了塑料产品成品的性质。最常用的填料是非金属矿物。其中碳酸钙是最普遍使用的，特别是用于聚氯乙烯。其他的填料包括高岭土(一种陶土)、滑石、云母。纤维添加剂，特别是玻璃纤维，被认为是效率最高的增强剂。纤维增强剂添加在塑料里能改进产品的刚性、强度，以及抗冲击、抗断裂的性能。其他纤维添加剂包括碳纤维、阿拉密德纤维(aramid 一种锦纶)，以及阿拉密德和碳或者阿拉密德和玻璃的杂合物。含有这一类增强剂的塑料常常被称为复合材料。

树脂里加入增塑剂是为了使它们更容易流进模塑里，有的时候是使它们更加柔韧。例如聚氯乙烯太刚硬，除非添加增塑剂不然很难使用。通常使用的增塑剂有邻苯二甲酸盐、环氧化油，以及磷酸盐。

稳定剂阻止聚合物降解。热稳定剂阻止加工热造成的降解。因此暴露于氧或紫外辐射的时候也会发生聚合物降解，所以抗氧化剂和紫外线吸收剂也用来作为稳定剂。

添加着色剂是为了使成品全部染上颜色。在这一点上，塑料优于木材和金属。木材和金属只能用油漆和涂料使表面涂上颜色。染料和色素用来作为塑料的着色剂。它包括二氧化钛（这是最常用的）、氧化铁，以及碳黑。



注模机由加热套筒和液压运作的活塞组成。定量的塑料颗粒送入进料斗(a)。液压活塞和柱塞的组合件迫使塑料颗粒在高压下在套筒的加热部沿着鱼形分布器前进。被推动的熔融的塑料通过喷嘴进入由两部分组成的塑模(b)。塑料冷却，分离。然后冷却的模制品从塑模排出(c)。

阻燃剂和防烟剂使塑料不那么容易燃烧，如果烧着了毒性不至于那么大。这样的性质在塑料用来制造家用器具、地毯、家具、飞机、汽车、电线、建筑材料时特别重要。添加阻燃剂和防烟剂有时降低了其他所需要的性能。铝的三水化合物是最重要的阻燃剂。

操作助剂是帮助制造塑料用的添加剂。例如润滑剂改进树脂在加工操作时的流动性。耦合剂促进分子间更强的结合。

热固性塑料和热塑性塑料 多数塑料被叙述为不是热固性的就是热塑性的。这与塑料对热的反应有关。

热固性塑料遇热变软，但是只在短期内变软。如果继续热下去，它就变硬。这种使热固性塑料变硬的过程称为固化。用化学的方法也可以完成固化。在固化的时候塑料分子的链互相连接，这就是所谓交联。交联一经形成，塑料就不再是软的了，也不能用加热的方法使它再变软。

热塑性塑料遇热也变软。只要是热的，它就总是软的。它只在冷却后变硬。再加热，再变软，可以多次重复。热塑性塑料在制造过程中分子链并不发生交联。

制造商选择热固性塑料制造必须经得住热的物品。用这样的塑料制成的物品可以耐受高达260℃的高温。温度再高，它就变成碳了。酚醛塑料是最常用的热固性塑料。其他热固性塑料包括树脂、热固性聚酯，以及聚氨酯。热固性塑料全算在一起，它的生产占全部塑料的不足15%。

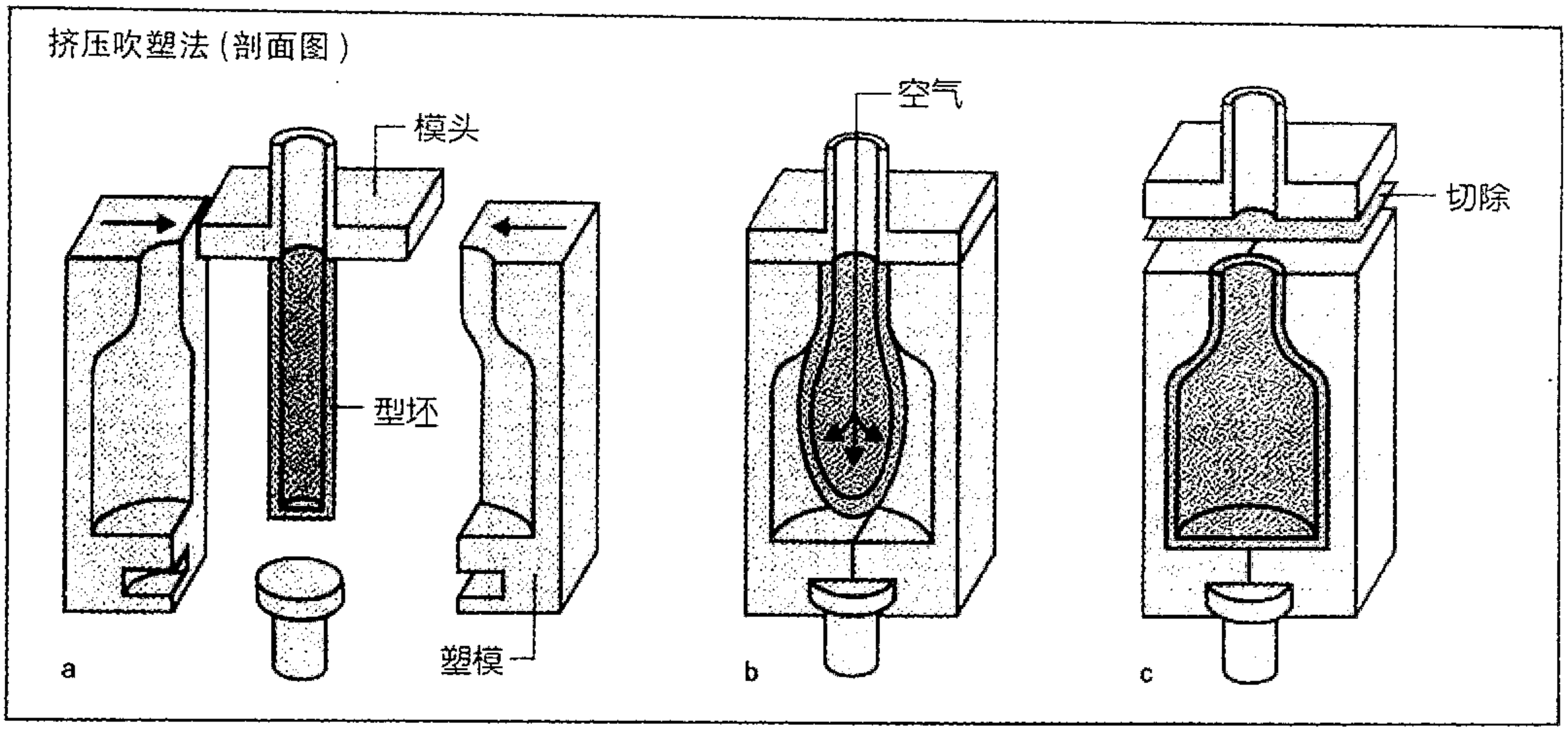
热塑性塑料用来制造不接触异常温度变化的物品。这些塑料在93℃的时候变软，甚至熔化。塑料的生产大部分是热塑性塑料。这些塑料包括ABS树脂（丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物）、缩醛树脂、丙烯酸塑料、纤维素质、含氟聚合物、锦纶、聚碳酸酯、热塑性聚酯、聚乙烯、聚对苯二甲酸乙二酯、聚丙烯、聚苯乙烯，以及聚氯乙烯。

制造

挤压成形（挤塑）是现在工业上最常用的塑料成形过程。在挤压的时候使热塑性塑料连续地强行通过成形塑模，制成所需要的形状。就好像是挤牙膏，它形成长的，通常是窄的产品。通过吹进空气或者水浸冷却，它在传送带上硬化。挤出来的棒、管、片、薄膜（例如包装食物用的薄膜）按所需要的程度绕成圈或者切成段。塑料纤维也是用挤压成形的方法制造的。液体的树脂通过几千个称为喷丝嘴的小孔，挤压出细丝。这些细丝织成了乙酸纤维、锦纶、人造丝，以及其他塑料纤维。

注模法（注塑）是第二个广泛使用的方法。它应用于模塑热塑性塑料以及某些热固性塑料。塑料物质加热成为半流体状态，以巨大的压力喷进一个塑模里，迅速冷却，得到产品。这个过程可以反复进行，需要重复多少次就可以重复多少次，因此特别适用于大量生产。注模法用于各种各样的塑料产品，从小的杯子、玩具，一直到重达14千克或者更重的大件。

吹塑法是用空气的压力将热塑性塑料物质形成中间是空的物品。制造者可以用直接吹塑法，也可以用间接吹塑



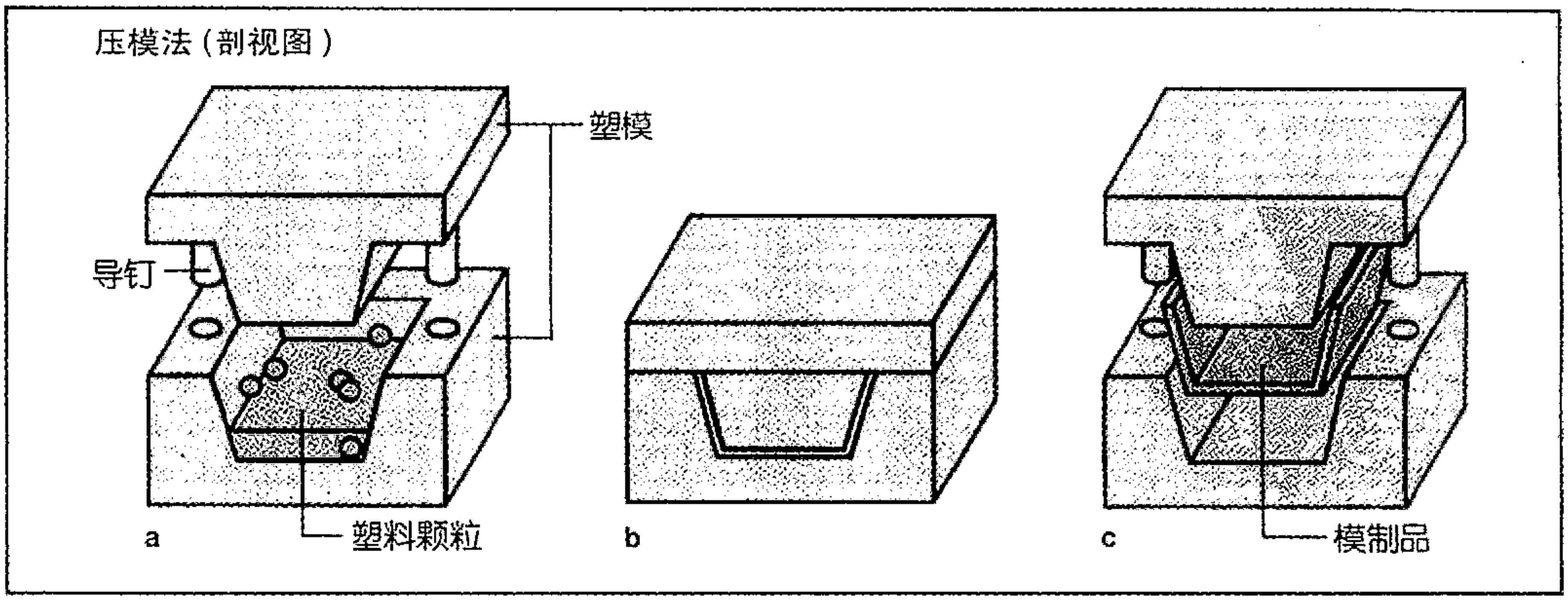
把称为型坯的熔融的塑料管通过口型挤进瓶形的塑模。把压缩空气吹进型坯，迫使型坯靠紧塑模的冷的壁。然后把模制品切下，从塑模里取出来。

法。直接吹塑法是将称为型坯的、部分成形了的、已经加热的塑料物质嵌入塑模，把空气吹进型坯，强使型坯扩展成为塑模的形状。间接吹塑法是将塑料片或特殊形状的塑料物质加热，夹在塑模和一个盖之间。空气强行进入塑料和盖之间，压迫塑料成为塑模的形状。

压模法（压塑）是将热固性树脂和填料混合成为模塑材料，将这个材料放进塑模。塑模的各个部分是用导钉严密地连接在一起的。对塑模施加压力，将材料加热到 177℃。在模塑材料成为半流体的时候，它被迫充填塑模的每一个部分。然后使塑料冷却、硬化，成为模制品。压模产品包括电话的送、受话器，锅的把手，唱片以及家用器具和汽车的部件。

转移模塑（传塑）是压模法和注模法的结合，普遍用于热固性塑料。就和注模法一样，塑料在一个小室里加热，然后用柱塞把它转移到塑模里。因为塑料是在塑模里加热和加压处理的，所以这个过程和压模法是一样的。转移模塑用来制造形状复杂的部件。这些部件可能有深的孔洞或者有金属的插入物。

在进行热成形的时候，将一片热塑性塑料加热软化，然后放在塑模上。将这块热塑性塑料片用几种方法当中的任何一种方法制造，使它和塑模完全一致。然后冷却成为塑模的形状。多种类型的包装是用热成型制成的，例如家具、家用器具、飞机、汽车、周末旅游汽车等的部件的包装都是如此。



压模法用的是两个部分组成的塑模，底下的部分装进塑料颗粒(a)。上面的部分盖住下面的部分，加热，加压(b)。然后取出模制品(c)。

在铸造的时候，流体的树脂倒进敞开的或者封闭的塑模里，只施加少许压力，或者完全不加压。热固性塑料和热

塑性塑料都可以用于铸造。铸造的热塑性塑料薄膜用于包装和制作照相软片，而丙烯酸塑料的铸片则用做窗玻璃、天窗、遮风屏等类物品。也可以铸造棒和管。

用压延加工的方法挤压热塑性塑料通过加热的辊筒生产了膜和片。像聚氯乙烯制造的铺地砖就是用压延加工生产的。这个过程也可以用来在织物上添加塑料涂层。

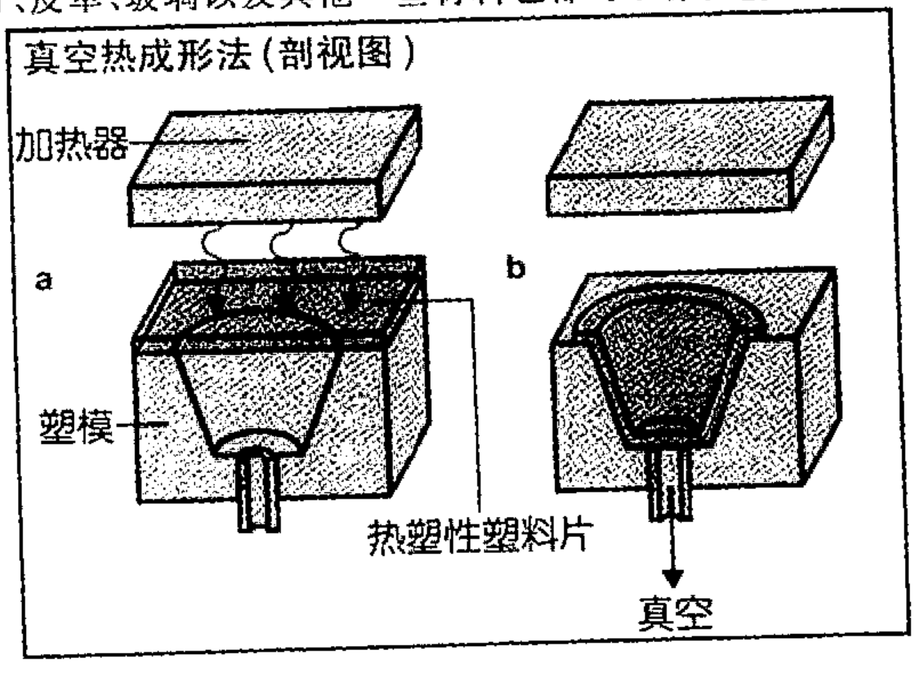
低压模塑，或者说加强模塑，用的是略为加热或者不需加热，只用少许压力，或者不施加压力便可成形和加工处理的树脂。这种方法用于模塑不规则形状的物品，因为这些物品太大，无法加压塑模。具体的操作是将玻璃纤维、织物、纸、薄木片放在树脂里浸过，然后铺放成形。如果需要，可以稍加压力，贴合的部件可以稍稍加热或者不加热地加工处理。小船的外壳、飞机的机身部分，以及风管就是用这样的方法制造的。

高压层压是把一层层的纸、布或者薄木片结合在一起。它们的每一层都浸泡了热固性树脂，然后在液压机的加热了的压板之间压成平板。层压材料非常坚固。它们被用来作为户内的墙板、桌子的桌面，以及户外的防水的层板。它们也被用于电器和电子产品、飞机和航空航天产品，以及其他需要高强度的产品。

反应注模法生产的是热固性塑料，通常是聚氨酯的产品。这相对地是一种新的操作方法。各个液体成分在注入塑模和加工处理以前先使它们发生化学反应。用这种方法生产的部件广泛地应用于汽车工业。

泡沫模塑的应用近年来日益普遍。泡沫塑料是多孔性结构的扩张材料，可以用几种方法生产。可以在热固性树脂或者热塑性树脂里添加发泡剂的方法生产泡沫产品。聚苯乙烯泡沫体制造的装鸡蛋的容器是这一类塑料制品的常见例子。

涂盖是使非塑料物质表面加了一层塑料后具备某些塑料的特性。印花布这样的织物可以加上一层塑料涂盖层。涂渍壁纸可以洗，而涂渍的机器不会生锈。在硫化床里，在熔化黏合过程里，预加热的金属部分蘸上干的塑料粉末。粉末熔化，和金属表面熔融在一起，形成均匀的涂盖层。木材、皮革、玻璃以及其他一些材料也都可以涂盖塑料。



像压模法那样，真空热成形法利用的是热和压力。在真空热成形过程里，热塑性塑料片加热变软(a)。然后通过真空吸力进入塑模(b)。

塑料与环境

多数塑料不是生物可降解的。它们不像食物或者天然纤维那样，过若干时候以后可以分解成为比较简单的物质。有些科学家正在研究如何创造生物可降解的塑料。例如暴露在日光下会变质的塑料。这一类研究的一个重要的问题是要保证塑料在使用以后降解，而不是在使用之前降解。

问题还在于如何处理数以百万吨计的塑料废料。塑料工业和环境保护组织正在研究塑料再循环的问题。有的塑料可以磨碎，重新加工成为新的产品。例如用聚对苯二甲酸乙二酯(PET)制造的装软饮料的瓶，以及用高密度聚乙烯制造的牛奶罐再加工成为绒夹克和睡袋的填料。以及绝缘材料、皮带材料和成材塑料。(装软饮料的塑料瓶和罐可不再重新用来装食物或饮料。)美国的一些州制定了有关聚对苯二甲酸乙二酯软饮料瓶再循环的法律，更多的州正在考虑制定这样的法律。

不过塑料对于环境的影响比塑料再循环的问题更为重要。例如在制造泡沫塑料的时候，采用了含氯氟烃(CFCs)作为发泡剂。现在有重要的证据，证明含氯氟烃消耗大气臭氧层，臭氧层阻挡了大量太阳紫外辐射，因而对地球起着保护作用。根据 1987 年签订的国际协议，蒙特利尔议定书，批准这个协定书的国家在 2000 年以前必须大量缩减含氯氟烃的使用。现在正在研究不损害臭氧层的其他发泡剂。

历史

虽然发明家 J. W. 海厄特和 L. H. 贝克兰是塑料工业的传奇人物，后来的创新者和他们的发明也同样值得称赞。乙烯基树脂早在 1838 年就发现了，而聚氯乙烯却是差不多一个世纪以后才在工业上使用的。1927 年－1933 年之间 B. F. 古德里奇公司的 W. 西蒙研究聚氯乙烯的增塑，使得这种树脂适合于模塑。

在此以后的几十年里其他研究者研制了多种塑料。德国化学家 O. 罗姆早在 1901 年就对丙烯酸树脂进行了实验。1931 年，罗姆和哈斯公司首先制造了丙烯酸塑料。这就是用来作为安全玻璃的有机玻璃。以美国化学家，杜邦公司的 W. H. 卡罗瑟斯为首的一组研究人员在 1935 年发现了锦纶。锦纶于 1938 年成为商品，从此作为一种纤维和一种塑料，它的应用日益增长。锦纶有几种不同的品种。1937 年，德国的 O. 拜尔开始研究，而最后终于完成聚氨酯的生产。它是 1954 年成为商品的。

1938 年，杜邦公司的 R. 普伦基特惊奇地发现原先是气体的四氟乙烯变成了白色的粉末。这个粉末就是聚四氟乙烯(PTFE)，是一种重要的塑料，人们更熟悉的是杜邦公司给它命名的商品名特氟隆。它是在 1948 年开始大规模工业生产的，普遍用于不粘的炊具。除此以外它还有多种用途。

早在 19 世纪就已经知道苯乙烯的单体也和氯乙烯以及丙烯酸盐那样可以聚合。虽然如此，聚苯乙烯的大规模的工业生产却是 20 世纪 30 年代后期的事情。

从 1940 年到 1950 年，其他许多重要的塑料树脂进入

商品市场，其中包括不饱和聚酯、低密度聚乙烯（LDPE）、碳氟化合物、丙酸纤维素、环氧树脂、聚硅氧烷、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物（ABS树脂）。高密度聚乙烯（HDPE）是1957年西德的K.齐格勒首先制成的。同一年，意大利科学家G.纳塔采用与齐格勒的方法相同的方法聚合了丙烯，制成了聚丙烯。

从20世纪50年代到70年代，研制了许多工程塑料。它们坚固耐久，适用于建筑、机器制造、航空航天、化学加工设备以及其他方面的需要。这些工程塑料包括聚碳酸酯、聚缩酯、聚苯氧、聚苯硫、聚砜、聚对苯二甲酸乙二酯（PET）、聚对苯二甲酸丁二酯（PBT）、聚醚醚酮（PEEK）。在20世纪80年代里工程塑料越来越重要。新的工程塑料，例如液晶聚合物继续得到发展。

在20世纪80年代里研究工作集中于塑料合金、共混物和增强复合塑料。塑料合金和共混物是塑料的混合物，是以较低的代价改进了性能的塑料物质。它包括聚碳酸酯和丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物（ABS树脂）、聚对苯二甲酸乙二酯（PET）和聚对苯二甲酸丁二酯（PBT）。增强复合塑料强度高、重量小，特别引人注意。它已经在许多应用方面代替了金属，在21世纪开始的时候可能还将继续采取这样的做法。

撰文：Daniel J. Domoff

氨基酸 AMINO ACIDS

从原生动物门到动植物，所有的活有机体共同具有这样的事实：他们通过使用同样的20个氨基酸来合成蛋白质，虽然在自然界存在着100多个以上氨基酸。如果说蛋白质是制造生物体的砖块，那么氨基酸就是制砖的砂粒和泥土。化学家给氨基酸下的定义是：凡含有一个碱性氨基（$-NH_2$）、一个酸性羧基（$-COOH$）和只有每一种氨基酸才有的特殊有机侧链的任何有机分子类。精氨酸、甘氨酸、半胱氨酸、组氨酸和色氨酸是氨基酸的几个实例。

人体不能够合成那9种所谓的基本必需的氨基酸。因此人们必须保证通过食用合适比例的谷物和豆类（豌豆和蚕豆）以吸取这些氨基酸。缺少所有氨基酸会导致身体整个失掉蛋白质，结果带来营养不良、体重减少、贫血症以及肌肉退化。特有的身心机能失调与缺少特种氨基酸有关系。氨基酸代谢的遗传性失调是氨基酸的输送或断裂中的缺陷。

余下的11种所谓的非必需的氨基酸是人体内通过称做氨基转移的反应来合成的。在这个过程中，通常涉及遗传过程的有机化合物脱氧核糖核酸（DNA）指引氨基酸按照指定的顺序置放，以形成蛋白质分子。氨基酸通过特殊键连接起来产生如角蛋白（毛发的主要成分）、鸡蛋的清蛋白（存在于鸡蛋的蛋白中）、酪蛋白（主要的牛奶蛋白质）、酶、毒液、激素和其他特殊生物活性分子等蛋白质。大多数普通蛋白质含有100种以上的氨基酸，例如，血液的载氧成分血红蛋白由排列成4个链的287种氨基酸构成。

催化剂 CATALYST

能提高化学反应速率，本身不被消耗或者与反应物不起变化的物质称做催化剂。催化剂的作用称做催化作用。化学家使用催化剂来加速许多发生得太缓慢以致不能实用的反应。催化剂作用的精确机理尚不清楚，不过有些类型的催化作用被认为当反应物吸附在催化剂表面上时，就会发生。优良的催化剂通常是高度多孔的固体。每克催化剂的表面积为几百平方米。例如，在汽车催化转化器中铂和钯的细粉有效地将废气污染物转化成水、二氧化碳和氮。（参见：**化学**）

催化剂可以是固体、液体或气体，而且它们的作用分为均相或非均相两类。均相催化剂是一种其分子分散在与反应物相同的相（通常为气相或液相）中。非均相催化剂是一种其分子与反应物是不同相的。非均相催化剂最常用的是固体，并且反应物一般是气体或液体。

一些化合物当做负催化剂来起作用，也就是它们会妨碍反应进程。负催化剂可能与化学作用的一种产品化合，使反应不可能继续进行下去。负催化剂还可能与催化剂结合，从而使催化剂失效。

催化剂和负催化剂二者都能被各种所谓“毒物”的物质钝化，这些物质阻止上述两种催化剂起作用。例如，铅化合物会毒化铂催化剂，因此装备了催化转化器的汽车只能使用无铅汽油。

酶是生物催化剂。这是在动植物中所发现的蛋白质，这些蛋白质能催化生命所需的生物化学反应。例如，唾液中的酶能加速转化淀粉成为葡萄糖，于数分钟内便完成了用其他方法数周才能完成的工作。

腐蚀 CORROSION

物质（一般是金属或金属合金）的化学变质称为腐蚀。物质与水和氧相接触是腐蚀的最普遍的原因，虽然地上和大气中的其他物质也能引起腐蚀。具有极大经济价值而又极易腐蚀的物质是铁，铁的腐蚀称为生锈。

铝、锡、铜、锌等金属的腐蚀，一般在金属外露的表面出现一薄层金属氧化物之后就停止了。这个表层是防止金属进一步与氧接触的屏障。甚至在铁与氧化合的时候，也会出现几乎看不见的一层氧化铁，如果环境中没有水分子，它能防止进一步生锈。然而，如果环境中有水，形成的氧化铁将是大而多孔的，氧气就会继续不断地接触它下面的铁。

其他金属在正常大气条件下也有轻微的腐蚀现象。铜以及铜合金黄铜和青铜，因为形成了碳酸铜组成的称为铜绿的绿色的薄锈，或者说薄膜，受到了保护，避免了继续不断的穿透性的腐蚀。因为人们认为铜绿的颜色美丽，许多场合下建筑物屋顶和装饰物用了镀铜的材料，有意让它长锈。

在高度工业化地区，空气中含有的硫和氮的污染物密度高，腐蚀速度快得多。这些化合物与空气中的水分化合，产生腐蚀性极大的酸。

在金属外面加上镀层可以防腐。使用的镀层方法有许多种，其中有涂漆，电镀铬或锌。不锈钢是钢与铬或钢与铬和镍的合金，它是抗腐蚀的。塑料、陶瓷和某些橡胶也用做金属的涂层材料。

炼金术 ALCHEMY

在中国又称炼丹术。中世纪的一种原始科学。目的是发现一种叫哲人石的物质，这种万应灵丹被认为能将普通材料例如铅变成银或金。炼金术士的另一个目的是研究“生命灵丹”——一种能医治百病和长生不老的药。（参见：化学）

历史根据

炼金术是在古代文化思想基础上发展起来的，包括中国、埃及、印度、希腊、叙利亚和其他伊斯兰地区。这些地方的古代人们已经学会如何从矿物中提取金属，如何制造合金、肥皂、玻璃、皮革、矾、染料和发酵液。

许多炼金术士是假装能制造金子的骗子和伪造者，可是另一些是诚实的，他们在寻找哲人石中进行了许多实际试验，虽然始终没有找到，但对化学和发展实验室技术有贡献。例如他们加热硫酸铁化合物制得“矾油”，现称硫酸，他们制备盐酸、硝酸和一些化合物如碳酸钾和碳酸钠，他们还鉴定了砷、锑和铋元素。

物质理论

“炼金术士”提出的古代思想之一是：物质由 4 种“元素”组成，即土、空气、火和水，它们的来源是共同的。物质被认为是有灵魂的，依靠哲人石能将一种元素变成另一种元素。

有些炼金术士相信在行星的影响下，火和水能在地球深处化合生成金。如果最终产品仅稍有不纯，就变成银；如果显著不纯，就变成贱金属例如铅。他们相信如果将特别精细的火和水放在一起，最终一定会发现哲人石。

拉瓦锡 LAVOISIER, Antoine Laurent

(1743－1794) 法国人拉瓦锡是科学史中最受尊敬的学者之一。在他之前，超过一世纪的时代里，化学家们对于火及物质的燃烧现象受到错误理论的限制。通过揭示火和燃烧的真相，拉瓦锡促进了化学从那时起所取得的显著进展。

拉瓦锡于 1743 年 8 月 26 日出生于巴黎，他是富裕的律师兼地主的儿子。他的父亲为这孩子买到贵族的称号和贵族所需的前程。然而年轻的拉瓦锡更喜欢科学，所以他父亲送他求师于许多杰出的学者。最后他在马扎林学院师从勒卡衣神父学习数学，并随闻名的植物学家朱西厄学习植物学。拉瓦锡很受他的世交法国地质学家盖塔的影响，并对后者的地质和矿物图集有所贡献。1788 年，拉瓦锡把他的地质层理理论提交给科学院。

当拉瓦锡才 23 岁时，他从科学院获得城市照明的论文奖。1768 年他被选进科学院，对如此年轻的人这是一种殊荣。同年他被任命为农业委员会的成员。这个委员会是负责征税组织。1776 年他开始担任政府军火库的领导人。

同年，美国独立的十三个州发表独立宣言，不久以后，殖民地的军队就已使用被拉瓦锡所改进了的火药。到了 1783 年，拉瓦锡通过证明氧与火的关系已经解决了当时最重要的化学问题。凭卓越的实验和准确的测量方法，拉瓦锡证明了燃烧、金属生锈和动物的呼吸都包含氧与其他化合物的结合。

由于这种称做氧化的结合是最重要的化学过程之一，拉瓦锡的发现使现代化学的发展得以开始。他于 1789 年在《化学原理》一书中发表了他的结论。

拉瓦锡已成为度量衡长官，并于 1791 年被任命为国库的委员，然而，1794 年法国革命党人指控他和其他农业委员会的成员密谋欺骗政府。由于这个缘故他被革命法庭于 1794 年 5 月 8 日在巴黎处决。

李比希 LIEBIG, Justus von

(1803－1873) 在李比希时代以前，化学主要是科学家们感兴趣的理论性学科。李比希开创了化学为人类日常生活服务的时代。他一生主要从事碳化合物研究，为现代有机化学奠定了基础。

李比希 1803 年 5 月 12 日生于德国达姆施塔特。他父亲是油漆商，李比希自幼通过观察和帮助他父亲改进油漆，开始学习化学知识。15 岁时他利用当药剂师学徒的机会，阅读了所有能找到的化学书籍。后来他到波恩大学学习，不久又转学到埃朗根大学，1822 年在该校获博士学位。

21 岁时李比希应邀在法国科学院宣读他的关于雷酸的研究报告，获得广泛的称赞和注意，并且结识了几位著名科学家。1824 年李比希到吉森大学任教，在那里他创立了第一个专为大学学生试验的实验室。1845 年被封为男爵。1852 年离开吉森大学，到慕尼黑大学任教授。在那里他以更多精力从事写作，着重阐述化学对人类生活的广泛用途。他于 1873 年 4 月 18 日卒于慕尼黑。

李比希发现氯醛和氯仿，对医学有很大贡献，而且醛在工业中也有广泛用途。他又改进生产氰化钾的方法，为电镀和制备氰亚铁酸盐提供原料。李比希研究从肉中提炼肉汁和婴儿食品。他还和 F. 维勒共同研究苯化合物和尿酸。

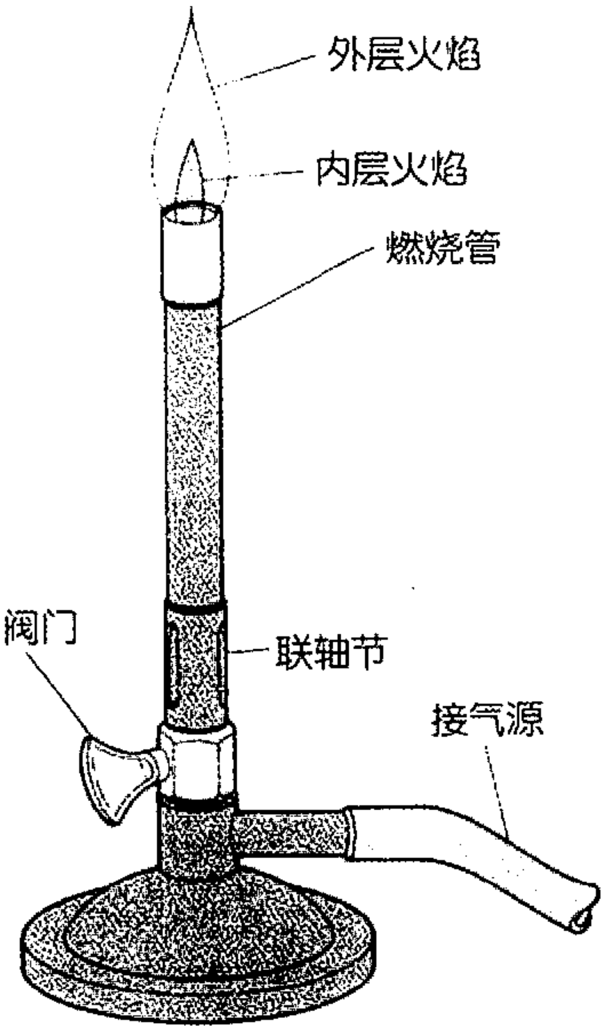
李比希证明无机和有机物质是由相同的一些元素组成的。他指出植物从土壤中汲取一些元素作为生长的营养，而动物又通过吃植物而得到这些元素。他在土壤研究中倡导用化学肥料补充由谷物收割提走的无机物，或提供某些土壤所缺少的无机物。

本生 BUNSEN, Robert Wilhelm

(1811－1899) 德国化学家。现今所用的煤气燃烧炉和普通喷灯都是值得纪念的本生的研究成就。他也帮助发展了能研究星球的成分和运动的光谱分析法。早期，他曾发现水合氧化铁是砷中毒的解毒剂，这种药物至今仍在沿用。

本生 1811 年 3 月 31 日生于德国格丁根。他用 6 年时间专心研究砷的有机化合物（现称卡可基），最后证明像金属那样的无机元素能够与有机化合物化合。

1841 年他发明由碳、锌和硫酸组成的本生电池，并用这项发明开始研究电解作用。他制得金属镁，并用它燃烧得到一种极明亮的光。这个发现后来被用做照相闪光灯。他还发明了油斑（或油纸）光度计来测量光的强度。



本生灯由底座和一根金属燃烧管组成。管子下部有进气口；管上有一个或多个开口，由联轴节调节空气进量。空气和煤气的混合物（约三份空气一份煤气）由煤气的压力送至燃烧管的顶端被点燃。主焰在内部，呈淡蓝色圆锥状；副焰包在主焰外面，几乎无色，呈较大的圆锥状，由剩余的煤气被周围的空气完全氧化而形成。

1852年本生开始在海德堡大学任教。1855－1863年与他的学生H.E.罗斯科重点研究光的化学效应。1859年与大学的物理教授G.R.基尔霍夫一起成功地创立了光谱学，这是本生对科学的最重要的贡献。科学家们用这种方法能够了解不同物体甚至遥远星球所含的化学元素。本生还用此法发现了两个新化学元素铯和铷。本生还发明了过滤泵（1868）、冰量热器（1870）和蒸汽量热器（1887）。

本生在研究高炉废气成分时发现50%－80%的煤气热能被浪费了。他在研究P.迪斯德甘和M.法拉第原有设计的基础上，于1855年发明了一种能节省大部分热能的气体燃烧装置，这种装置后来被命名为本生灯。它能将可燃气体与可控制进气量的空气混合，得到更热的火焰。这种原理现今广泛用于实验室、煤气灶和大部分煤气炉。本生于1899年8月16日卒于海德堡。

巴斯德　PASTEUR，Louis（1822－1895）

法国化学家巴斯德献身于解决工业、农业及医药中的实际问题。他的发现已经挽救了无数生命，并为世纪创造了新的财富。在他的发现之中有巴氏消毒法和预防蚕病、炭疽病、鸡霍乱及狂犬病的各种方法。

巴斯德不从他的发明求利，他靠他的教授工资或微薄的政府津贴维持他的家庭。在实验室中，他是一位镇静而又严谨的工作者；但一旦肯定了他的发现后，他就强有力地捍卫这些发现。巴斯德是一位强烈的爱国者，热情地渴望通过科学使法国伟大起来。

学者和科学家

巴斯德于1822年12月27日出生于法国多勒。他的父亲是制革工人。1827他家迁移到临近的阿尔布瓦城，在那里他开始上学。他是勤奋的学生，但并不特别有才华。

当他17岁时，在贝桑松皇家学院获得文学士学位。在紧接着到来的三年里，他辅导比他年轻的学生，并为自己报考巴黎著名的培训教师的学院高等师范学院做准备。作为他的学习的部分内容，他研究各种形状的酒石酸的结晶的化学及光学性质。他的工作为日后研究化学键的几何学奠定了基础。巴斯德的研究不久就使他受到赏识，他被任命为一位化学教授的助教。

1847年巴斯德得到科学博士学位，并被任命为斯特拉斯堡大学的化学教授。在那里他遇见该校校长的女儿劳伦。他们于1849年结婚。巴斯德的妻子分享他对科学的爱好。他们有5个孩子，3个死于童年。

发酵和酸败的研究

1854年巴斯德成为利尔大学的化学教授兼理学院院长。一位酿酒者慕名求他帮助控制通过甜菜发酵制酒的过程。巴斯德发现发酵不是一个简单的化学反应，而是在活生物体存在下才会发生。他认识到发酵、腐败、传染和酸败是细菌或微生物所引起的。

巴斯德于1857年发表他的第一篇论文论乳酸的生成及它在使生奶变酸中的作用。进一步的研究发展了有价值的巴氏消毒法技术。同年，他被任命为他原来的学校高等师范学院科学研究的管理人和领导人。在接下去的几年当中他把他的研究延伸到微生物理论。他用很多时间向持怀疑态度的科学家们证明微生物不是在物质内自发产生的，而是从外界进入的。

治理农业病害方法的开发

1865年巴斯德被邀请帮助由于一种神秘的病侵袭蚕而导致濒临崩溃的法国蚕丝工业。在深入细致地研究之后，他发现包括有两种疾病，它们都是由提供蚕食料的桑叶上的细菌所引起的。这两种病通过卵传给蚕的下一代。巴斯德给养蚕人演示了如何在显微镜下鉴别健康的卵，如何破坏病卵和蚕，以及如何防止病菌在桑叶上形成。

45岁时，巴斯德患中风，在一段时间内，尚难确定他能否痊愈，他被迫卧床数月。这次病的侵袭留下了残疾。在他以后的岁月中当他行走时，一只脚稍有不便。

1877年巴斯德开始寻求治疗害死牛、羊及其他饲养场动物的炭疽病。他获益于他在进行的另一种动物疾病鸡霍乱的研究。当他给健康的鸡注射了变弱了的霍乱的培养菌时，鸡只患轻微的病，并且此后对此病有免疫力。巴斯德成功地应用这个免疫技术来预防炭疽病。由于许多科学家怀疑巴斯德的预防炭疽病的主张，巴斯德同意进行一次引人注目的试验。48只绵羊、几头牛和山羊被集中在靠近默伦

城旁的牧草地。一半动物首先注射了变弱了的炭疽菌的培养菌，然后给所有的动物注射了强培养菌。

几天之内，未经处理的动物死了，而经免疫处理的动物未受疾病的影响。这个试验毫无疑问地证实了巴斯德的研究结果。后来，他建议把所有预防注射的培养菌称作疫苗，而称这种预防注射的技术为接种疫苗。

狂犬病的治疗

当人们被患此病的狗或其他动物咬伤时，即患狂犬病（或恐水病）。狂犬病通过侵袭脊髓慢慢地破坏中枢神经系统。

巴斯德推论在人们已经被咬，但在脊髓尚未破坏之前使人接受免疫，这样做是可能的。他取出已死于狂犬病动物的脊髓组织，使其经过不同时间的干燥。然后使这些组织接受预防注射，并将这些接种后的组织注射入另一个被咬伤的动物体内。第一次的预防注射是从最干燥、最弱的培养菌开始，每接续一次的预防注射要更强一些，在反复失败后，他终于在一只受感染的狗身上成功地阻止了狂犬病的发展。这种治疗需要 14 次预防注射。

巴斯德迟迟未在人身上尝试这种疗法。1885 年一个 9 岁的孩子约瑟夫·迈斯特得了狂犬病，孩子的母亲恳求巴斯德拯救他的儿子，巴斯德被迫做出在人身上做试验的决定。这个孩子已被患狂犬病的狗咬过 14 次。巴斯德给这个小孩治疗。创伤愈合了，并且未留下狂犬病的任何痕迹。这样，约瑟夫成为第一个被巴斯德医治而挽回生命的人。

巴斯德由于他以前的发现已经获得许多荣誉，现在全世界联合起来对他表示特殊的敬意。成千上万的人捐款建立了一个巨大的实验室，即巴斯德研究所，在那里科学家们继续进行各种疾病的研究。巴斯德于 1895 年 9 月 28 日在圣克洛德附近逝世。

门捷列夫 MENDELEEV, Dmitri

(1834 - 1907) 俄国科学家，化学元素周期表的编制者。在他 1871 年最后修订的表中，还为以后将要发现的其他一些元素留了空位，并预言了这些未知元素的性质。（见：**周期表**）

门捷列夫 1834 年 2 月 8 日生于西伯利亚托博尔斯克。在他父亲双目失明并于 1847 年逝世后，他母亲经营的玻璃工厂又遭大火烧毁，他随全家先搬到莫斯科，后迁至圣彼得堡。门捷列夫在那里进入师范学院学习。1855 年任教师，并被派往敖德萨继续学习化学。1857 年首次担任大学职位，又到海德堡大学进修(1859 - 1861)。回圣彼得堡后从事编辑和科学写作。1864 年任工学院化学教授。1868—1870 年，他编写的教科书《化学原理》出版。

在著书过程中，他开始研究化学元素之间的关系。他将全部元素按原子量递增的顺序排列，并按元素性质周期性的规律进行分类，最后编成周期表。这个表被大家认可后，对理解放射性衰变过程很有用，这个过程能使一种元素转变为另一种。

门捷列夫对俄国的工业和农业也有重大贡献。后来由于他的进步社会思想，一度被迫辞去教师工作。晚年他担任国家度量衡局局长。他卒于 1907 年 2 月 2 日。



Courtesy of the ALL-Union Mendeleev Chemical Society, USSR

门捷列夫

霍普金斯 HOPKINS, Frederick Gowland

(1861 - 1947) 英国生物化学家。因探明人类健康和营养的关系，于 1929 年与 C. 艾克曼共获诺贝尔生理学或医学奖。他发现维生素是动物饮食中维持健康的主要因素。

霍普金斯 1861 年 6 月 20 日生于英国东萨塞斯郡伊斯特本。1888 年在伦敦的盖伊医院学医，1894 年获伦敦大学医学学位，之后在医院的附属医科学校任职。1899 年被邀请转入剑桥大学新办的生理学院，直至 1943 年。

在早期研究中，霍普金斯认识到生物化学家对蛋白质缺少精确的认识。1901 年他和一个助手发现氨基酸——色氨酸，并从蛋白质中分离得到（氨基酸是蛋白质的结构单元）。1906 - 1907 年，他证明色氨酸及其他几种氨基酸在动物体内不能合成，必须从食物中补充。他发现动物单纯用纯蛋白质、脂肪和碳水化合物的混合物作饲料是不能生存的，还需要一种"附属物质"，后称维生素。1907 年他和 W. 弗莱彻爵士共同证明肌肉收缩时积聚乳酸，为肌肉收缩的现代理解打下基础。1922 年他从活组织中分离出一种三肽（三个氨基酸顺序连接）——谷胱甘肽，并证明它在细胞氧化过程中的重要作用。霍普金斯于 1925 年被封为爵士。1931 年任伦敦皇家学会会长。他于 1947 年 5 月 16 日卒于剑桥。

哈恩 HAHN, Otto

(1879 - 1968) 德国化学家。他和放射化学家 F. 斯特拉斯曼共同发现核裂变现象。这个进展直接导致了第二次世界大战中原子武器和现代核能工业的产生（见：核能）。哈恩于 1944 年获诺贝尔化学奖，并于 1966 年同斯特拉斯曼和奥地利物理学家 L. 迈特

纳一起获费米奖。

哈恩1879年3月8日生于德国美因河畔的法兰克福。曾在马堡大学和慕尼黑大学上学，1901年获马堡大学博士学位。毕业后在军队服役一年，又在马堡大学任教两年，以后先后在伦敦和蒙特利尔从事放射性研究。回德国后在柏林大学化学实验室工作。1912－1944年在威廉皇家化学研究所工作(现名马克斯·普朗克科学促进学会)。

第一次世界大战期间，哈恩担任化学战专家。战后，他和迈特纳宣布发现放射性元素镤。之后，他和助手们采用E.费米的方法，研究用亚原子微粒轰击铀，试验结果表明原子在以上过程中发生分裂，他们把这种现象命名为核裂变。这个发现的蕴涵很快为科学家们所认识。第二次世界大战后，他到英国，后来回到德国。他于1968年7月28日卒于格丁根。

尤里 UREY，Harold Clayton (1893－1981)

美国科学家。由于发现重氢——氘而获1934年诺贝尔化学奖。他是发展原子弹的关键人物，并对现今公认的地球和其他行星起源的理论有重大的贡献。

尤里1893年4月29日生于印第安纳州沃克顿。1917年在米苏拉的蒙大那州立大学获学士学位。1923－1924年在丹麦哥本哈根参加N.玻尔对原子结构理论的基本研究。1924－1929年任教于马里兰州巴尔的摩的J.霍普金斯大学；1929－1945年任教于纽约的哥伦比亚大学。1945－1981年期间先后在核研究所、芝加哥大学和加利福尼亚大学圣迭戈分校担任教授。

尤里于20世纪20年代开始研究氘，他在蒸馏液态氢时得到浓缩氘。1931年他和助手们宣布发现重水，由一个原子氧和两个原子氘组成。他还分离了碳、氧、氮和硫的放射性同位素，并检验它们的性能。

第二次世界大战期间，他在哥伦比亚大学指导的研究课题，后来成为美国发展原子能计划——曼哈顿计划的极其重要部分，尤里小组提供了把可裂变的同位素铀-235从更丰富的同位素铀-238分离出来的基本资料。并探索了浓缩重氢和分离硼同位素的方法。

战后，他研究氧的较重同位素氧-18，开发了测定远到1.8亿年前海洋温度的方法。又进而研究地球各种元素的丰度，发展了关于各种元素的起源及其在太阳和其他行星中丰度的理论。

尤里推理：地球的原始大气组成和现在的木星大气可能相似，主要由氨、甲烷和氢组成。在芝加哥大学他的实验室工作的学生S.米勒进一步指出，如果将这些化合物和水用一个能源，如紫外线照射，它们可能反应生成组成生命物质的主要化合物。

尤里提出太阳系的行星，是由围绕在太阳周围的圆盘状气体与来自太阳的各种气体化合，然后可能分裂成许多碎片经冷凝而成。他在1952年出版的《行星：其起源和发展》一书中阐述了这个理论。

1960年尤里呼吁支持用空间探索研究太阳系起源和其他行星存在生命的可能性等。他于1981年1月5日卒于加利福尼亚州拉霍亚。

鲍林 PAULING，Linus (1901－1994)

又泽泡令，美国化学家。曾两次获得诺贝尔奖。他因对化学键和分子结构的研究获1954年诺贝尔化学奖，又因积极参加反对核武器试验运动而获1962年诺贝尔和平奖。

鲍林1901年2月28日生于俄勒冈州波特兰。1922年毕业于俄勒冈州立农业学院(现名俄勒冈州立大学)化学工程系。1925年在加利福尼亚理工学院获博士学位。以后两年他先后在欧洲慕尼黑、苏黎世、伦敦和哥本哈根等地向一些著名科学家学习原子和量子物理。1927年重返加州理工学院化学系任副教授，1931年任教授，他在那里一直工作到1964年。第二次世界大战期间，鲍林在联邦政府的科学研究和发展办公室工作。

鲍林早期研究晶体结构，探索化学键本质和分子结构，在他1939年出版的《化学键本质及分子和晶体的结构》一书中专门论述了他的早期研究结果。之后他又研究更复杂的氨基酸分子和组成蛋白质的肽链。在研究蛋白质分子时，他发现患镰形细胞性贫血病人的血红蛋白结构缺陷，这是一种遗传病。这种缺陷使一些红血球变成镰形。他证明，如果增加动脉血液的含氧量，就能暂时使血红蛋白变为正常。

1961年鲍林公布一个能解释麻醉现象的分子模型。介绍一种能解释记忆过程的新概念。1965年发表了关于原子核的新理论。

20世纪50年代，随着核武器的加速扩散，鲍林开始担心大气中的放射性危害。1958年他发表《不要再有战争》一书阐明了他的看法。不久，他向联合国递呈"停止核试验"的请愿书，世界各地有11 021个科学家签名。1963年禁止核试验条约缔结后，他参加加州圣巴巴拉民主制度研究中心工作，研究战争和和平问题。次年辞去加州理工学院工作。1967－1969年他在研究中心工作的同时，还在加利福尼亚大学圣巴巴拉分校任教。1969年到斯坦福大学化学系工作，由于他赞同"大剂量维生素C能预防或治愈普通感冒和其他疾病"的理论，得到广泛重视。他在1974年退休前一直在斯坦福大学工作。

霍奇金 HODGKIN，Dorothy Crowfoot (1910－)

英国化学家。因测定维生素B_{12}的结构而获1964年诺贝尔化学奖。1948年她和同事合作得到这个维生素的第一张X射线衍射照片。在此以前，正常的化学方法极难测出分子中心的结构，只知道中心有一个钴原子。霍奇金发明的新技术最终测出了分子的全部原子排列。

霍奇金1910年5月12日生于埃及开罗。曾在英国约翰莱曼爵士学校和牛津大学萨默维尔学院学习。在牛津时她研究结构复杂大分子的X射线。1934年她和剑桥大学的同事合作拍得第一张蛋白质——胃蛋白酶的X射线衍射照片。1934年重返萨默维尔学院担任化学教师。1937年

同担任讲师兼作家的T.霍奇金结婚。1942－1949年从事青霉素的结构分析。

1947年成为皇家学会会员1960－1977年担任牛津大学皇家学会教授，1965年获功绩勋章。20世纪60年代初期她到非洲加纳大学，她丈夫在那里指导非洲研究所工作。1970年担任布里斯托尔大学名誉校长，1988年任荣誉研究员。她也是牛津沃尔夫森学院的研究员（1977－1983）。

西博格 SEABORG，Glenn T.（1912－）

美国核化学家。由于分离超铀元素——比铀重的元素，和E.M.麦克米伦共同获得1951年诺贝尔化学奖。第二次世界大战期间，他在芝加哥大学冶金实验室做研究工作，对原子弹的发展发挥了作用。他积极参与瑞典-美国事业，曾任美国瑞典议会主席和美国斯堪的纳维亚基金的受托人。

西博格1912年4月19日生于密歇根州伊什珀明，1922年随家迁往加利福尼亚。1934年毕业于加利福尼亚大学洛杉矶分校，1937年在加利福尼亚大学伯克利分校获博士学位。他长期在伯克利从事教学和研究工作，还用不少时间为美国政府研究各种专题计划和应付许许多多临时任务。

在取得博士学位后，西博格用3年时间专门研究发现普通元素的新同位素。1940年他同麦克米伦等人开始制备超铀元素。麦克米伦已用回旋加速器轰击铀靶，分离得到镎。从1940年到1958年，他们一共发现9个新元素，包括原子序数94到102（见：**周期表**）。其中最著名的新元素是钚（94号元素），它被用于核爆炸和核反应堆的燃料，后由E.费米指导的芝加哥大学实验室首次工业化生产。其他新元素是镅（95）、锔（96）、锫（97）、锎（98）、锿（99）、镄（100）、钔（101）和锘（102）。1944年西博格提出锕系理论，预言了这些重元素的化学性质和在周期表中的位置。这个原理指出，锕和比它重的14个连续不断的元素在周期表中属于同一个系列，现称锕系元素。

第二次世界大战以后，西博格于1946年重返伯克利，担任化学教授和劳伦斯放射实验室核化学研究导师。1954年任实验室副主任。1958－1961年任伯克利校长。1961年J.F.肯尼迪总统任命他为原子能委员会主席。他是担任这种职位的第一个科学家。1971年他离开委员会重返伯克利任大学教授，并在1972－1975年间兼任核化学研究实验室主任。

除诺贝尔奖外，西博格还获得许多其他奖和表扬。1959年获费米奖。其他嘉奖包括美国瑞典工程师协会埃里克森金质奖章、瓦萨勋章、法国高级勋章。他于1962年被授予瑞典美国人称号。

天文学 ASTRONOMY

人类从最初时候起就已经注视天空。有史以前，有些人已发觉某些天体沿着有规律的可预料的途径运动。一门古老科学——天文学——便诞生了。在这同一领域里也有科学家的一些最新发现。从对横越天空的太阳和恒星的简单的观察，进展到坍缩恒星内物质非常状态的先进理论，天文学已有多年的历史了。

天文学家专心一致地研究天体的运动，长达多个世纪。他们看见太阳从东方升起，穿经天空，而落于西方。在太阳降落之后，他们看到了细小的光点出现在变黑的天空中。

这些光点的大部分，互相之间似乎停留在同一位置，好像它们被钉在围绕地球的一个大黑球上。这些光点被称为恒星。其他光点似乎在天空旅行，从一群恒星到另一群恒星。这些运动着的光点被称为行星，或“游浪者”。

古代天文学家认为天体的位置预告地球上将要发生的事——战争以及人的出生、死亡、好运或噩运。这个迷信体系称占星术。因为古代占星术士要准确地预言地球上将发生的事，他们研究天体的运动。绝大部分科学家不再信奉占星术，但是他们发现一些古代的占星术士是观察恒星和行星的运动及位置的好手。

人目中的天空

当你不用单管或双管望远镜以及其他现代仪器观察天空，你所看到的和古代天文学家所看到的基本一样。白天你看到太阳甚至有时能看到淡淡的月亮。

晴朗的夜里，你能看到恒星，经常还能看到月亮。如果你看的次数足够多了，你能够认识称为星座的一群星。甚至你可能注意到一颗星的位置每晚都不相同，它就是行星，古代的“流浪星”之一。

白天和黑夜

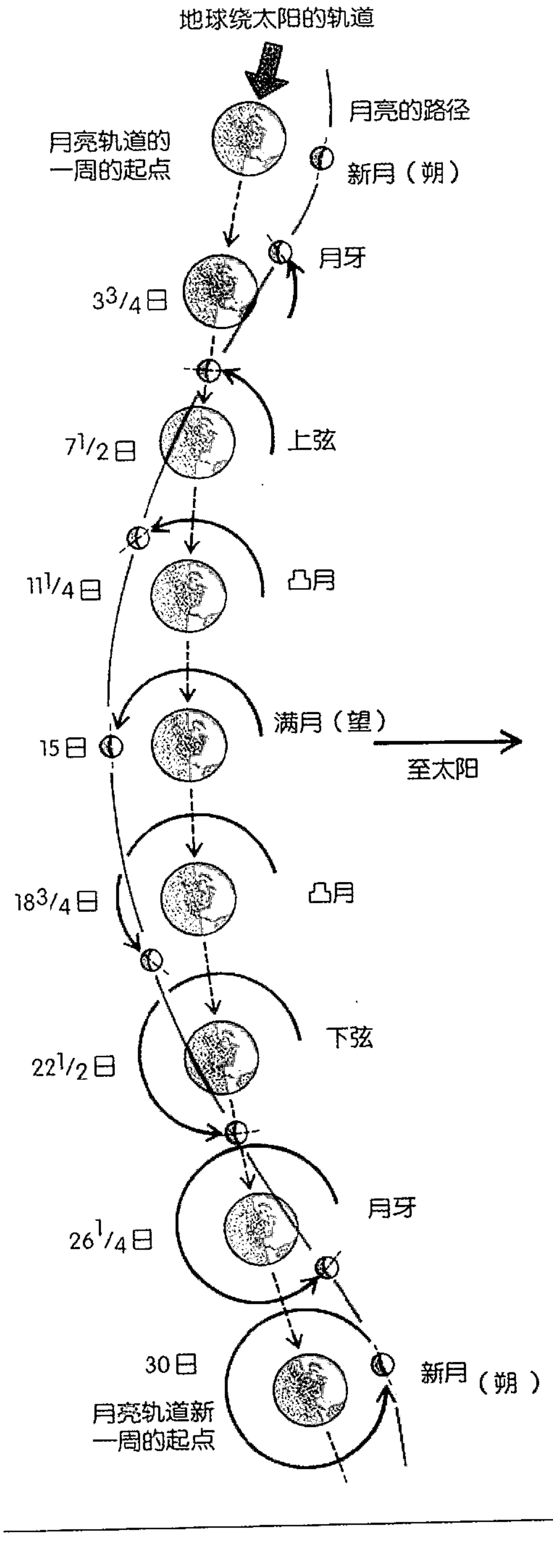
一天分成24小时。太阳平均升上来和落下去各12小时。所以太阳每日的运动，就是时钟指出的时间的来源。但每天并不一个样。冬天，见到太阳的时间，每天不到12小时；夏天就超过12小时。所以这样，因为夏天太阳在白天天空中的路径比冬天长。

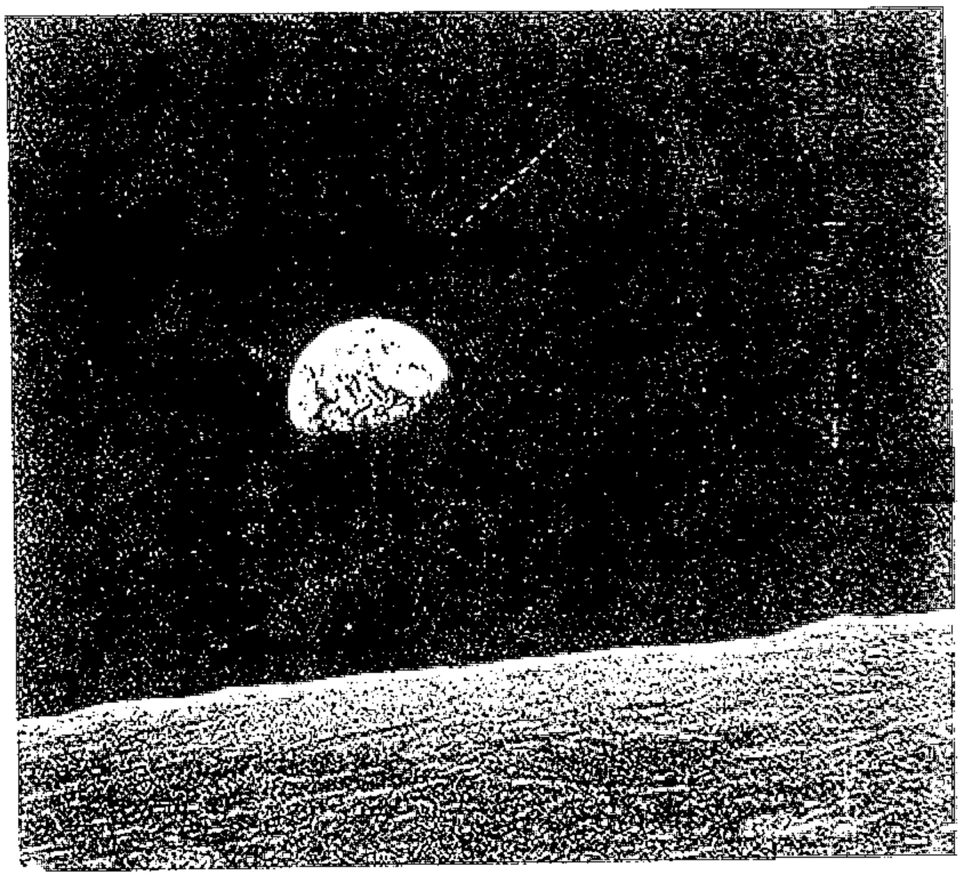
空间中的地球

太阳、月亮和恒星看上去都往西转动，它们似乎都绕着地球转。但这不是真的，真正转动的是地球。它往东转，一天转一圈。人们开始很难相信，因为当我们想到运动，我们也就想到运动中的汽车和火车的振动。但地球在空间自由运动，不和别的物体摩擦，它就不会振动。这是文静的转动，丝毫没有摩擦，于是看上去似乎是太阳、月亮和恒星在升起和降落。

地球由月亮陪伴，月亮绕地球转动，月地距离约为地球直径的30倍。与此同时，地球绕着太阳转。每一年地球绕太阳一周。由于地球的自转轴是倾斜的，地球绕太阳的转动就引起四季的变化。当地球的北半球往太阳方向倾斜，北半球就到了夏季，而南半球向背着太阳方向倾斜，进入了冬季。6个月后，地球绕到太阳的另一方，季节就反过来了，因为倾斜到太阳一边的是南半球，而倾斜到背离太阳方向的是北半球了。

月亮绕太阳的路径





地球在太空中自由移动。在这张由阿波罗8号拍摄的照片中，北美洲和南美洲被云遮住了。亚洲和部分非洲正处在地球是夜晚的那一半。

如果你观察月亮3或4周，你将看到它不是一个样子的。有时它像一个大盘子，有时它像一个细而弯曲的梳子。这些变化称为月相变化。这由于月光只是它表面反射的太阳光。也就是月亮只有面对太阳的一面是亮的。当月亮处于地球和太阳之间，月亮的亮的一面背着地球。月亮就看不见了，称为新月。当地球位于太阳和月亮之间时，月亮的亮面正对地球，称为满月。新月和满月的中间，月亮位于地球的另外两边，是上弦和下弦。

夜空

在晴朗的夜间，用你的眼睛注视天空，能看到什么呢？自然地你能看到恒星。在观察几天之后，你能从行星的运动找到行星。虽然用肉眼来看，恒星和行星差不多，但它们是很不相同的。行星全像地球那样绕太阳转动。地球上所以能看见它们，是由于它们将阳光反射回来。

恒星就远得多了，大部分恒星像太阳——大、热和亮。恒星用它们自己的能量发光，就像太阳一样。

当你观察恒星时，你可能注意到一条宽阔的模糊的光带横越天空。它是一群暗淡的星，称为银河。银河是个星系——一个庞大的恒星的集团，太阳只是其中的一员。银河系有1万亿颗星（数量级为10^{12}）。其他星系离银河系很远很远。

日食和月食

古时候，在白天或黑夜，当太阳或月亮该出现在天空时，发现它们完全不见了，人们常常很害怕。他们不了解为什么会发生日、月食，他们担心太阳和月亮永远不见了，将世界沉入黑暗中。

日、月食不定期出现，是由于月亮绕地球的轨道平面和地球绕太阳的轨道平面有微小的偏离。两平面间的交角为

5°8′。这表示在满月和新月时，月亮常常在日地连线的上方或下方，所以地球或月亮的影子都不会落在对方的表面上。日食或月食只能发生在月亮恰好通过两个轨道面的交叉点之一时。如果轨道面不偏离，在每一个满月就将有全月食；而在每一个新月，就有日全食。

有时，月亮通过两平面交叉点的同时，它正好在地球的背后。地球的影子挡住了落在月球上的阳光，月亮好像不见了。约两小时后，月亮的边沿在地球影子的另一边出现，整个月亮就逐渐露了出来。

也可能发生相反的事。有时月亮通过两平面交叉点的同时，它正处于地球和太阳之间。月亮的影子落在地球上。因为月亮比地球小得多，只有一小点影子落在地球上。对影子的最黑部分即全影中的人们，月亮完全挡住了太阳，就出现日全食：即全部太阳的亮面被遮住了，而只有太阳的较外部大气中的日冕能看到。由于太阳如此耀目，甚至在日食中，直接看它也是很危险的。

通常，太阳的耀目圆面，掩盖了淡淡的日冕。在日全食中，天文学家能够研究太阳的大气。可惜这类日食永远很短。最长的日全食可能只有约7分钟。

地面上在真正影子的周围还有面积较大的影子较淡的区域（半影区），对半影中的人，月亮只遮住了部分太阳，沿着月亮的边沿，出现光亮的银色或黄色的“蛾眉月”，这是日偏食。

在日食时当月亮处于绕地球的椭圆轨道的最远端时，它的圆面略小于太阳的圆面，所以在月亮的黑圆面周围可看到太阳的一个圆环面。天文学家称它为日环食。

来自外部空间的岩石

当我们观察夜空时，常见一线闪光穿经大气，迅速不见了。虽然通常称它为流星，但真正的恒星穿过天空不可能比太阳更快。但小石块或小金属块在围绕太阳转动，有时，这些小块石或金属进入地球大气中，由于它们的高速度所产生的摩擦，使它们燃烧起来。这些小块可能行经一段路后就不见了，也可能落到地上。

流星因所在地点不同有不同名称，按国际天文学联合会规定，在地球大气之外的岩石和金属碎片称为微陨星体。流星体进入地球大气后，称为流星。流星在地球表面上降落，称陨石。

结实到能到达地面的陨石，明显地是小行星的碎片。（小行星是直径可达800千米的绕太阳转动的大岩石。）在大气中燃烧的流星，大部分是细小得像粉尘的粒子，是彗星碎裂的遗留物。（彗星是稀薄的天体，主要由冰冻的水、冰冻的气体和一些砂砾组成，它们也绕太阳转动。）

有时一群流星在一个时期内进入地球大气，形成流星雨，几十个或几百个一起划过天空。这些流星在较上层的大气中已全部烧尽了。

它们太小也太脆弱了，因此不能到达地面，虽然每天有相当数量的来自流星的灰尘落向地球。有记录的由狮子座流星引起的最大流星雨从1966年11月16日延续到17日，这个流星雨每隔 $33\frac{1}{4}$ 年出现一次。

北极光和南极光

住在比较靠近北极或南极的人，能够看到自然界所展示的最宏大而壮观的景象——北极光或南极光。地球磁极的上空高处，来自太阳的带电粒子蜂拥进入地球大气。当这些粒子和空气分子碰撞时，就在地球大气层内80到320千米高处，发出大片的、一条条或一束束绚丽的彩光。

这个来自太阳的带电粒子流，称太阳风。太阳不断地向外部空间发出这类粒子流。当太阳处于非常活动期间——即在太阳表面上有多个大黑子——太阳风就特别强，大群粒子到达地球大气，引发大范围绚丽的极光。

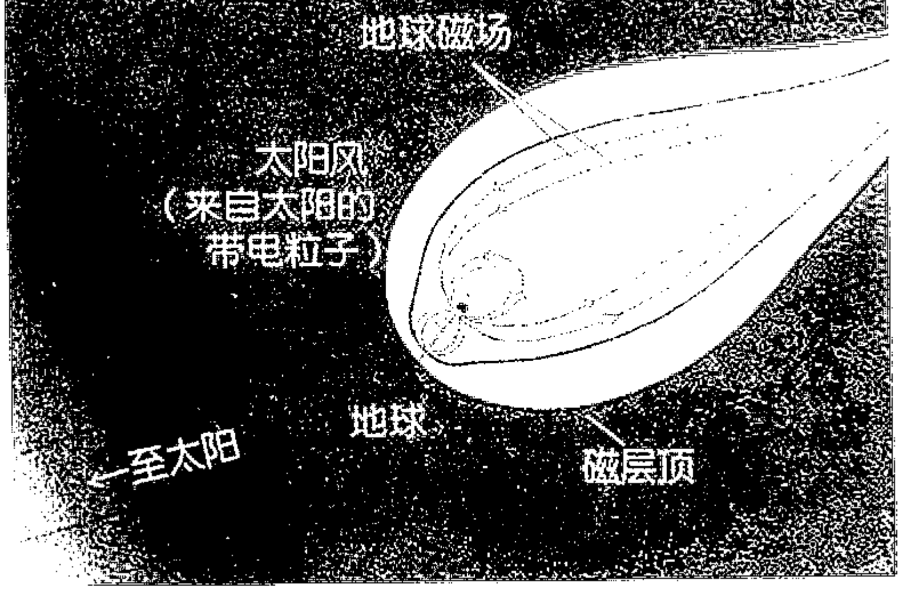
太阳系

地球并非惟一绕太阳转动的物体。大量的物体，有一些比地球还大，而有一些小到要用显微镜才能看到，都被太阳的引力场所控制。大物体中最大的九个称为行星，按对太阳的距离近、远排序，地球居第三位。较小的物体包括天然卫星、小行星、彗星、流星和行星际气体中的分子。

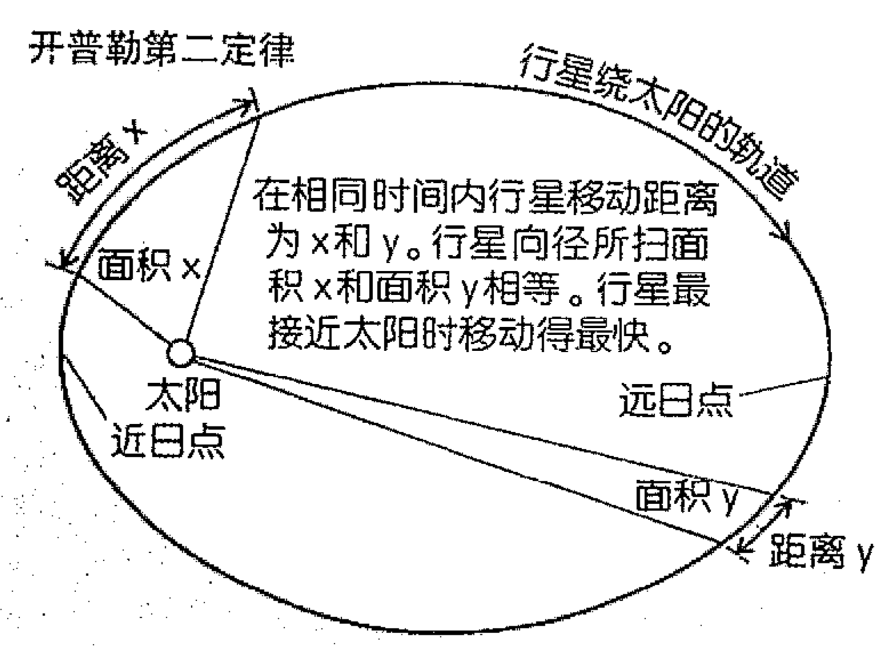
开普勒行星运动定律

17世纪初期，天文学家开始接受地球和行星绕太阳转动的概念，而不接受太阳和行星绕地球转动的概念了。但天文学家仍不能准确地描述行星的运动。德国天文学家开普勒用了三个数学公式终于能够描述行星的运动了。这三个公式现被称为开普勒的行星运动定律。（见：**开普勒**）

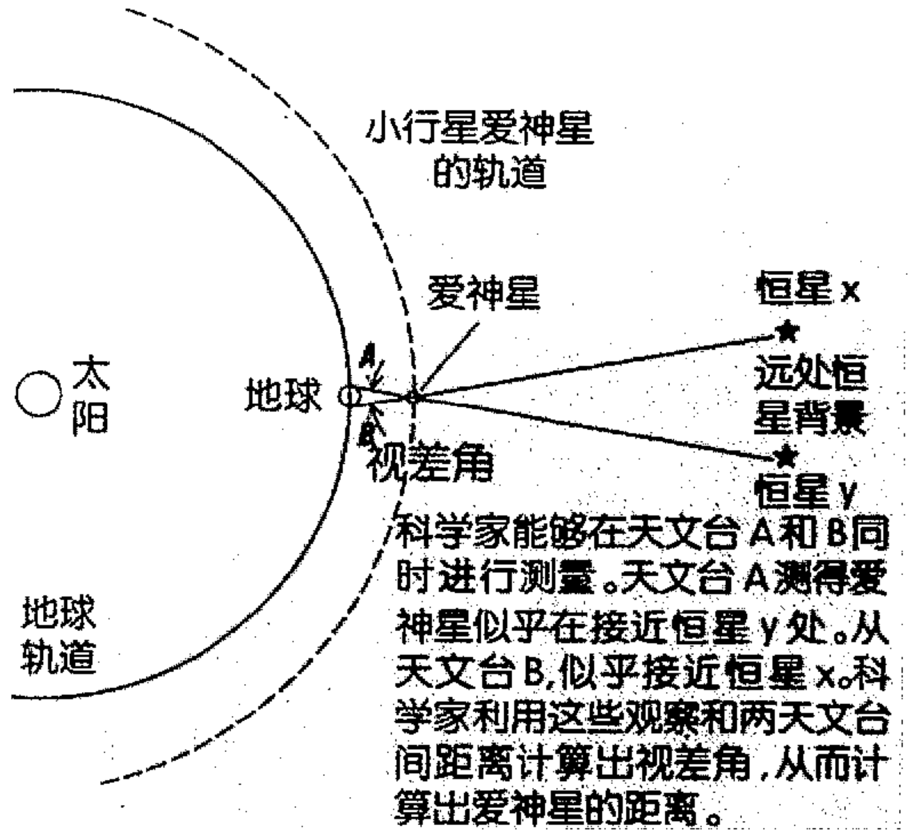
如果将太阳到地球的平均距离规定为一天文单位（A.U.），只需在测定行星绕太阳转动的周期后，用开普勒第三定律（表述行星绕太阳转动的周期和它与太阳间距离关系的公式），就能求出这些行星和太阳间的相对距离。在明确用千米或英里表示地球和太阳间的实际距离之前，太阳系内的许多距离是用天文单位表示的。这个单位至今有用。利用视差测量和更新、更准确的雷达测距，天文学家已测定一个天文单位等于149 597 870千米（92 958 350英里）。另一种测量方法称激光测距——在月亮表面上放一个反射镜，将激光信号反射回来——已用来验证天文单位的值。



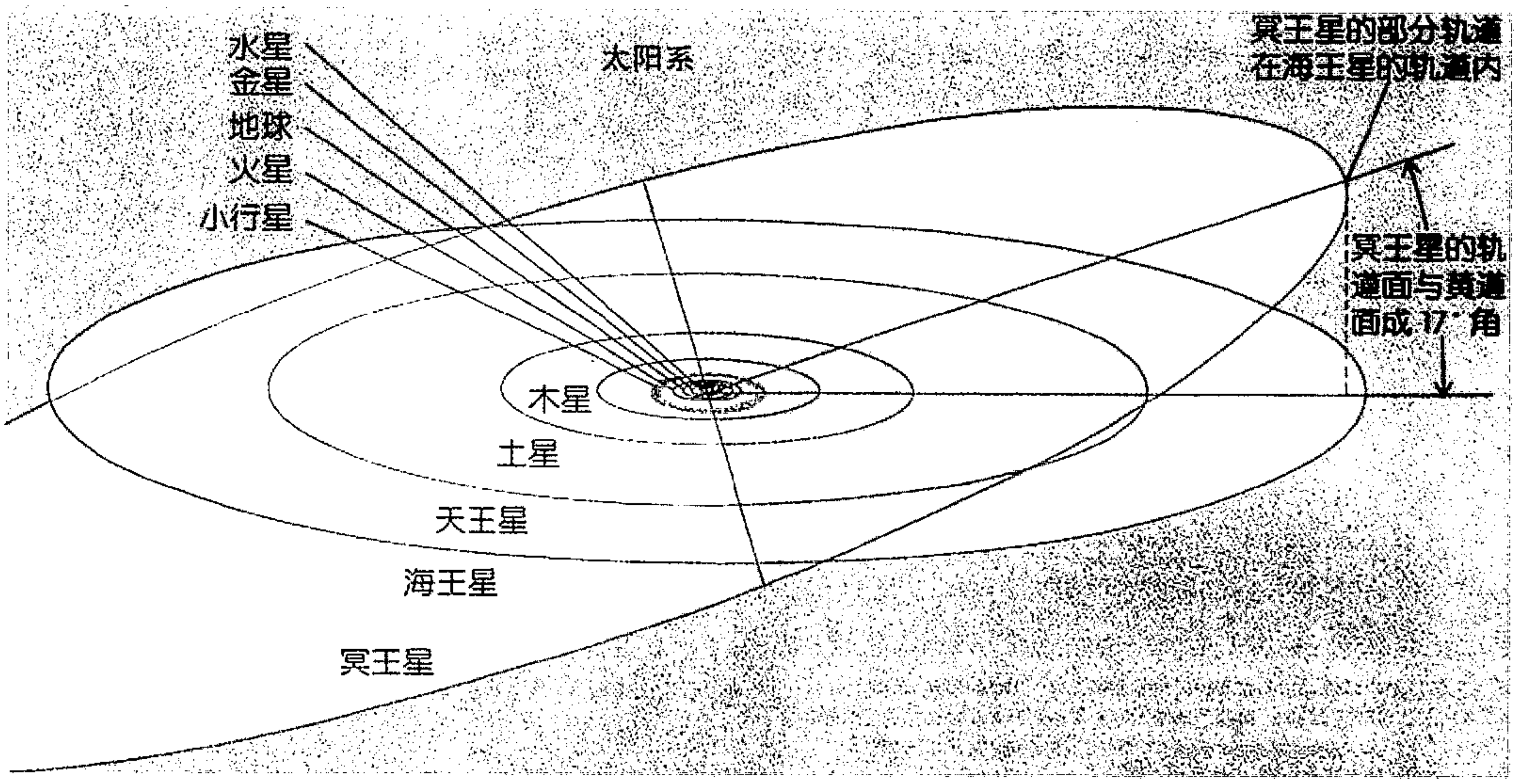
太阳连续发射出带电粒子流。当称为太阳风的粒子流到达地球周围时，它使地球的磁场变形。一些粒子在磁极附近呈螺线下降，在那里它们产生了极光。



开普勒的行星运动第二定律描述了行星循椭圆轨道绕太阳转动的速率。它表明太阳和行星的连线(向径)在相同时间内扫过相同面积。因此,当行星接近太阳时,行星的速率增加;而当行星离开太阳时,它的速率减小。



爱神星接近地球时,经常进入3 200万千米以内,有时可到2 300万千米。在如此相近时,易于用视差法测定它的距离。



在太阳引力场内部的很多物体与太阳一起组成了太阳系。行星的轨迹是个大椭圆,太阳在这个椭圆的一个焦点上。全部行星循同一转向绕太阳转动。小物体的椭圆轨迹受附近行星引力的影响而变形。

牛顿的万有引力定律

开普勒定律高度精确地描述了行星的运动和位置,但这三条定律不能说明行星遵循这些轨道运动的原因。如果这些行星没有受到一些力的作用,它们将简单地沿一条直线运动,掠过太阳后向远方的恒星飞去。必须有某些力将它们吸往太阳。

英国科学家计算了月亮对地球的加速度。它比苹果从树上落向地面的加速度小得多。牛顿断定了使苹果落向地面的力和使月球向地球加速的力是同一类力。但是离地球越远,这个力就越小。循这条思路,牛顿推算出这个宇宙中无处不在的力。(见:**万有引力**)

行星

在18世纪以前,人们知道除地球以外,有7个天体以不动的恒星为背景不断运动。它们是太阳、月亮和肉眼可

见的5个行星：水星，金星，火星，木星和土星。然后，1781年德裔英国风琴手和天文爱好者威廉·赫歇耳发现一颗新行星，后被命名为天王星。

天王星没有循牛顿引力理论所预言的准确轨道运行。这个问题被发现另一个行星而圆满解决，它就是海王星。两位数学家约翰·库奇·亚当斯和于尔班·勒威耶计算出海王星可能出现的位置，但由德国天文学家约翰·戈特弗里德·伽勒发现这颗行星。

即使做了改正，这两颗行星的轨道仍有一些小的偏差。这导致另一行星的找寻，它基于美国天文学家珀西瓦尔·洛韦尔的计算。1930年，克莱德·W.汤博发现这个新行星，被命名为冥王星。

已经证实冥王星的质量如此之小——约为地球质量的$\frac{1}{500}$——不可能是造成观察到的天王星和海王星轨道偏差的原因。因此，一些天文学家相信太阳系内可能还存在其他行星以解释两行星的轨道偏差，虽然，至今一个也没有找到。

全部行星沿着接近圆形的椭圆轨道绕太阳转动。水星和冥王星有最离心的轨道。全部行星都循一个方向绕太阳转，太阳本身也循这个方向转动。而且，全部行星轨道几乎都在一个平面上。又是水星和冥王星的轨道最倾斜，水星轨道平面和地球轨道面(即黄道面)的交角为7°，而冥王星为17°。

大部分行星同样地由西向东地绕它们的轴自转(只有金星、天王星、冥王星例外)。大部分自转轴和行星的轨道面垂直。然而天王星的自转轴倾斜到几乎在轨道平面上。

行星可分为两类。水星、金星、地球和火星为内行星——在小行星带内，接近太阳。它们是密度大、岩石化而体积小。由于地球是典型的内行星，有时将这群星称为类地行星。

外行星处于小行星带之外，除冥王星以外，它们比内行星的体积和质量都大得多，但密度小得多。由于木星是外行星的主要代表者，它们有时被称为类木行星，或巨行星。冥王星是个外行星，但它通常未被认为类木行星。

行星的天然卫星

已经知道7颗行星——地球、火星、木星、土星、天王星、海王星和冥王星——都有天然卫星。由于月亮相对地球来说不算小，地-月系有时也被称为一对双行星。冥王星和它的卫星冥卫一也和此相同，因为据估计冥卫一差不多有冥王星一半大。虽然其他卫星有比月亮和冥卫一大得多的，但和它们所围绕的行星相比，就太微小了。在太阳系内至今还未发现更多的双行星。

小行星

1801年1月1日，意大利天文学家玖再皮·皮亚齐发现在火星和木星的大间隙里存在一颗小行星。稍后命名这颗行星为谷神星。这是已经发现的几千颗小行星中最大的第一号小行星。

彗星

彗星是太阳系中最不寻常又最难预料的天体。它们的外貌从像微小小行星的小恒星影像到接近太阳时肉眼可见的拖着光亮的长尾的天体。彗星的大部分是多种物质——主要是水和气体——的冰，混有一些硅酸盐砂粒。彗星的成分和它们的轨道的性质，提示它们大概和太阳系的其他天体同时形成或早一些。

几亿颗彗星可能存在于一个大彗星云中，称为奥尔特云，并认为它环绕着太阳系。当这云偶然受到扰动时——也许是受附近经过的恒星的吸引，一些彗星离开了奥尔特云。这些彗星进入太阳系内部，并循长扁椭圆轨道绕太阳转动。偶尔其中的一位天外来客受较大行星的引力影响，被吸入更紧、更短的轨道，周期约为7年。然而大部分彗星有长得多的周期。哈雷彗星约为76年转动一周。许多彗星可能花几千甚至几百万年转一周。

当彗星接近太阳时，它的一些冰蒸发了，太阳风把这些蒸气从彗星头推向离太阳更远处，使彗星有了长的光亮的尾巴，它永远背离太阳。

太阳

太阳的光谱、亮度、质量、大小和年龄同附近的星对照，说明太阳是一颗普通的典型的恒星。和大部分恒星一样，通过内部的热核反应太阳产生能量，这些反应是维持地球上生命的必需条件。

太阳系的起源和未来

最广泛地被采纳的太阳系起源的模型综合了杰勒德·P.柯伊伯和托马斯·克劳德·钱伯林精心研究的理论。天文学家相信约在45亿年前，银河系内由气体和尘埃云组成的很多稠密的球状体之一收缩成一个盘形天体，热而密集的盘的中心变成我们的太阳，余下的较外部物质形成自转的盘，称为太阳星云，它冷却成为岩石和金属的小颗粒、它们互相碰撞、黏合，逐渐长成较大的天体，变成一些行星和它们的卫星。

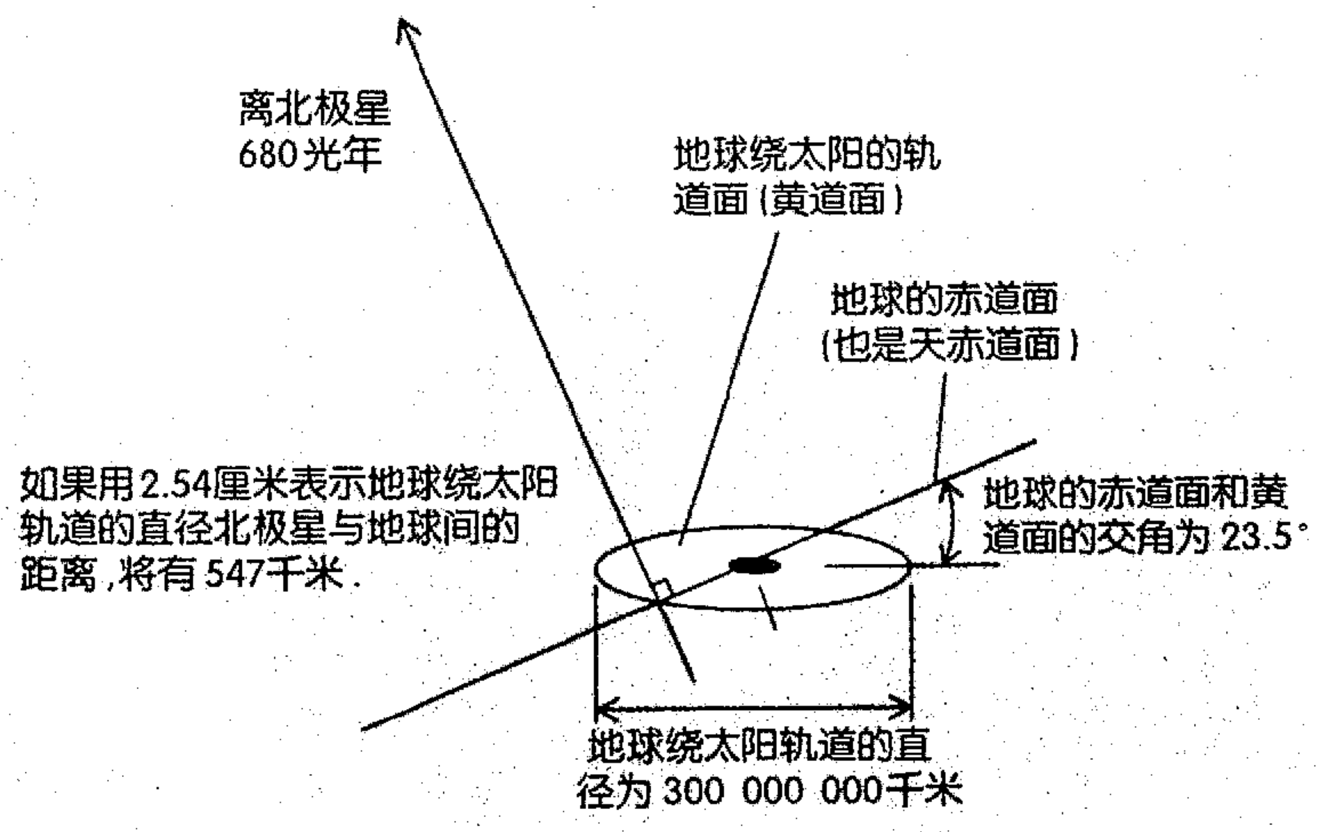
太阳系的未来还不能确定，因为可能发生意外事。一颗恒星可以直冲太阳系，穿越并将它破坏，虽然这类事难得出现。如果不发生意外，太阳系的未来就取决于太阳。当太阳不断地消耗它所储藏的氢并将它转变为氦，它将慢慢地变得更为光亮。如果现代的恒星演变计算正确，太阳将在约50亿年后变得更亮更大，行星将因此更热，使地球上的生命不能延续。

再往后，太阳将耗尽它的核能源，并将开始冷却。最终它将成为白矮星，它的全部物质紧压到不比地球大的空间中。经历太阳剧变后的余下来的行星，成为绕太阳转动的冻结的荒漠。

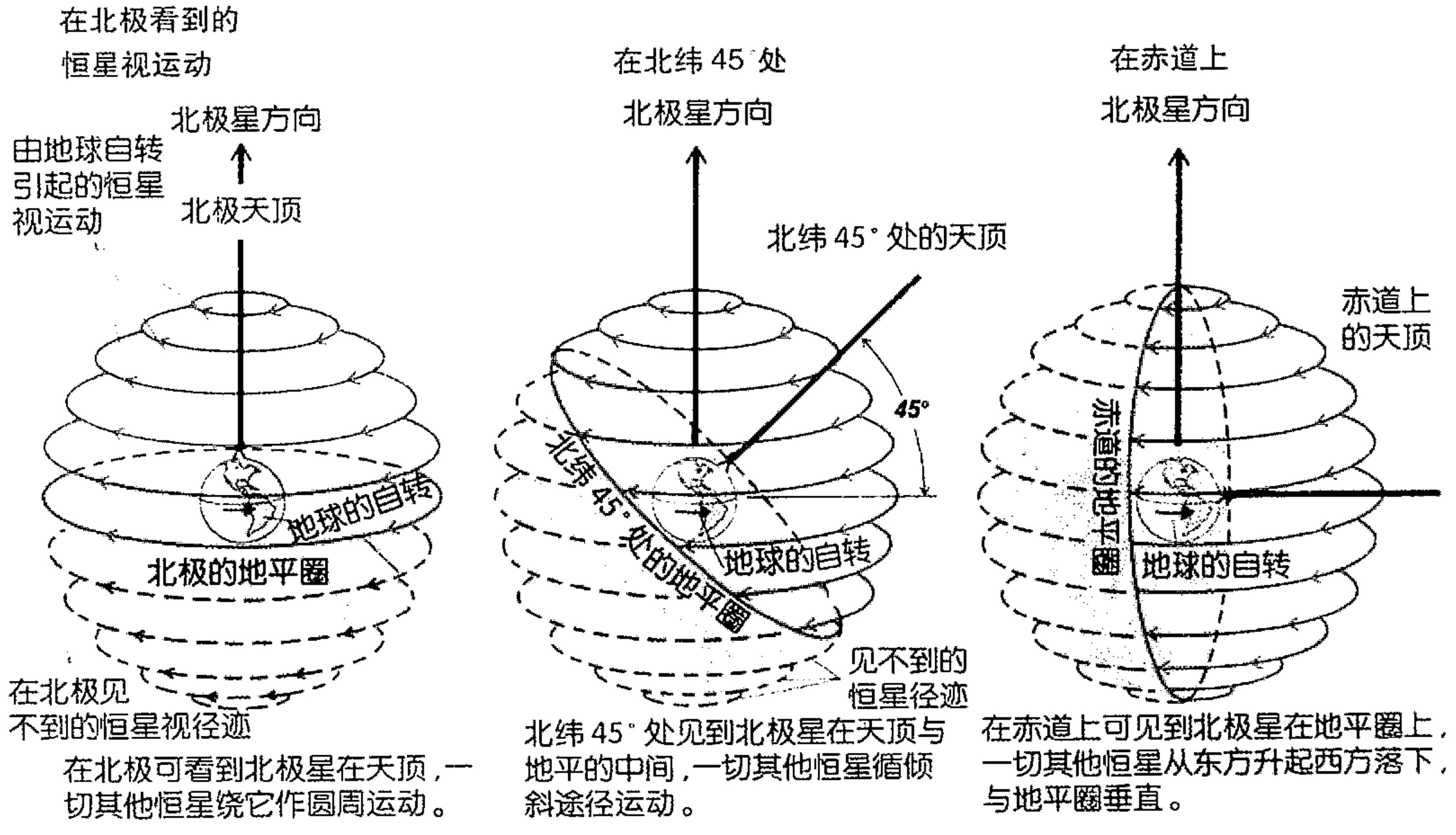
太阳系内是否存在地外生命?

生命就如我们所知只能存在于一定的化学和物理条件下，高级形式的生命要求更为特殊。公认的生命的主要需求是可获得稳定的水和很密的气体，即大气和对太阳辐射

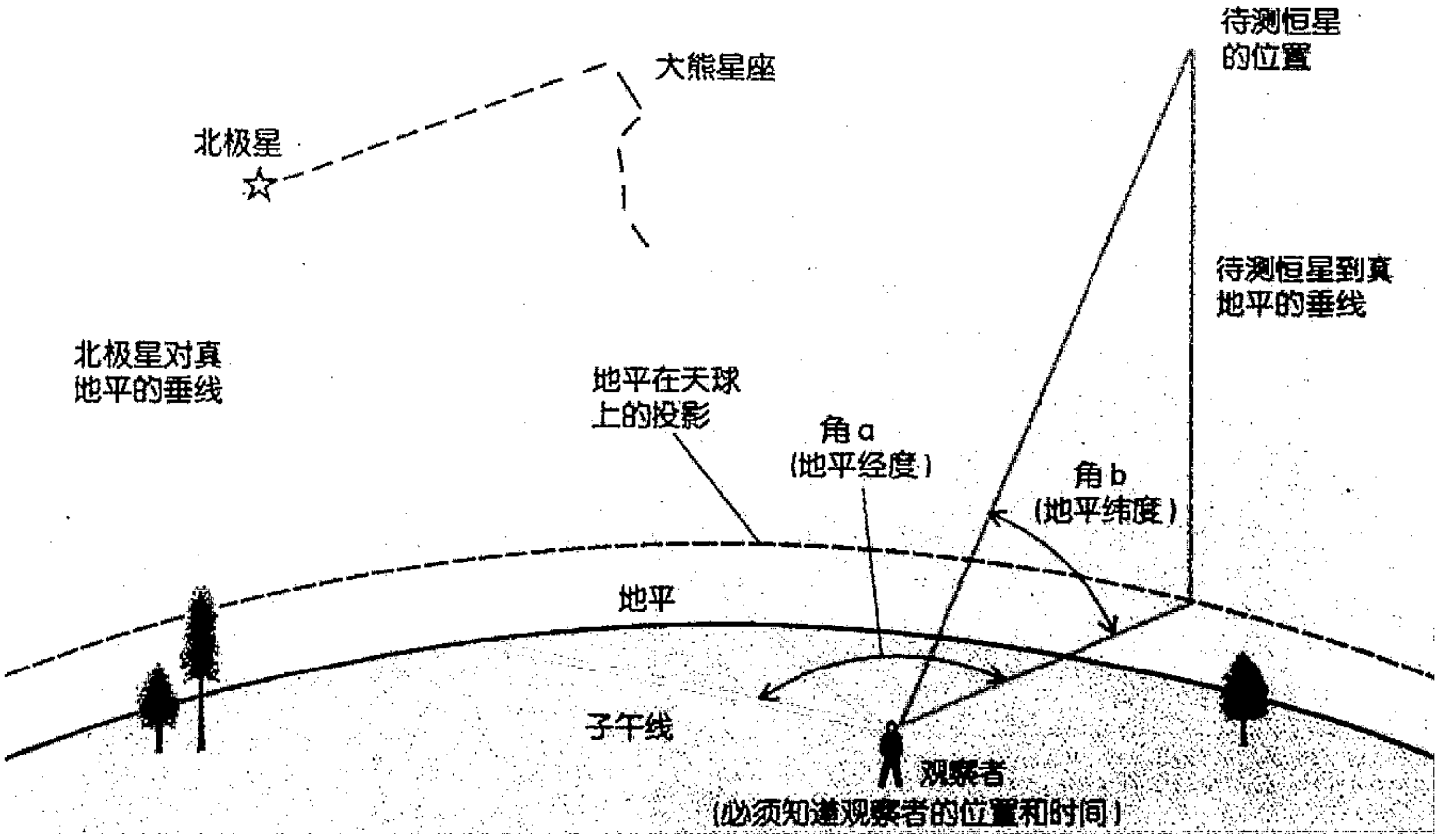
的防护。太阳系内有些环境符合这些标准。例如，有机体可以在金星或木星云内生存或存在于月亮的表面下，彗星和小行星可含有某些有机物质。至今没有确切证据肯定或否定在这样的环境下存在生命。



围绕太阳系是个广阔的空的空间。如果地球的轨道直径为2.54厘米，北极星将在547千米之外。当科学家测量北极星的视差角时，他们发现这个视差角等于底边为2.54厘米，两腰为547千米的三角形的最小的顶角。



在地球自转中，地球上的人并未感到它在转动，只看到太阳和恒星由东到西横越天空。



地平坐标系提供了记录恒星位置的一个方法。观察的时间和地点也必须记录下来，因为恒星的地平经度和纬度随地面的位置和地球的自转而变动。

空间探测器已经摄下了火星表面的形象，提示液体形式的水曾一度存在于这个行星的表面。这展现了在早得多的时期，火星有存在生命的可能性。然而，现在不像还存有生命体。通过对海盗一号和二号 1976 年从火星上取回的泥土的分析，没有发现生命有机体的痕迹。总之，动物生命不可能在火星表面存在，因为那里没有液态水，大气中也没有游离态氧气，也没有臭氧以阻挡有害的太阳紫外线。

据我们现在所知，地球是生命的天堂，在太阳系内没有一处可便于人类殖民。宇航员必须带着他们的环境去访问任何一个行星，正如他们带着他们的环境，一起去访问月亮一样。

恒星

如果你有机会在夜里用望远镜观察天空，你将看到真正复杂的景象。你必须亲自探测星空才能真正欣赏它的宏伟。惟一可比拟的经验是用好显微镜考察浅绿色水池中的一滴水，并看到这滴水中充满了意想不到的小生命。

星座

恒星视若成群，或称星座。北斗七星是更大的称为大熊星座(拉丁名为 Ursa Major)的一部分。猎户星座是另一个容易认识的星座。在繁星中寻路的第一步是熟悉这些星座。如果你从少数所熟悉的星座开始，并有星图在手，你将很快地认识其他星座。

星座中的恒星未必在空间互相靠得很近。例如大熊星座的中间五颗星相对地紧靠一起，但第一颗和最后一颗星只是看上去在同一群星里。它们比其余五颗星离地球远得多，它们甚至于慢慢地循不同方向移动。猎户星座的一部分也相对地紧靠，但其中的猎户座 α(中文名参宿四)，即在顶部的光亮的红星离地球比它们近得多。

天球坐标系

天文学家需要记录恒星的准确位置。在一定范围内，确定一些天体在一些星座内是有用的。记录行星运行的一个古老方法，是说一颗行星进入、在或离开黄道带的“宫”。但这个方法并不真正准确。

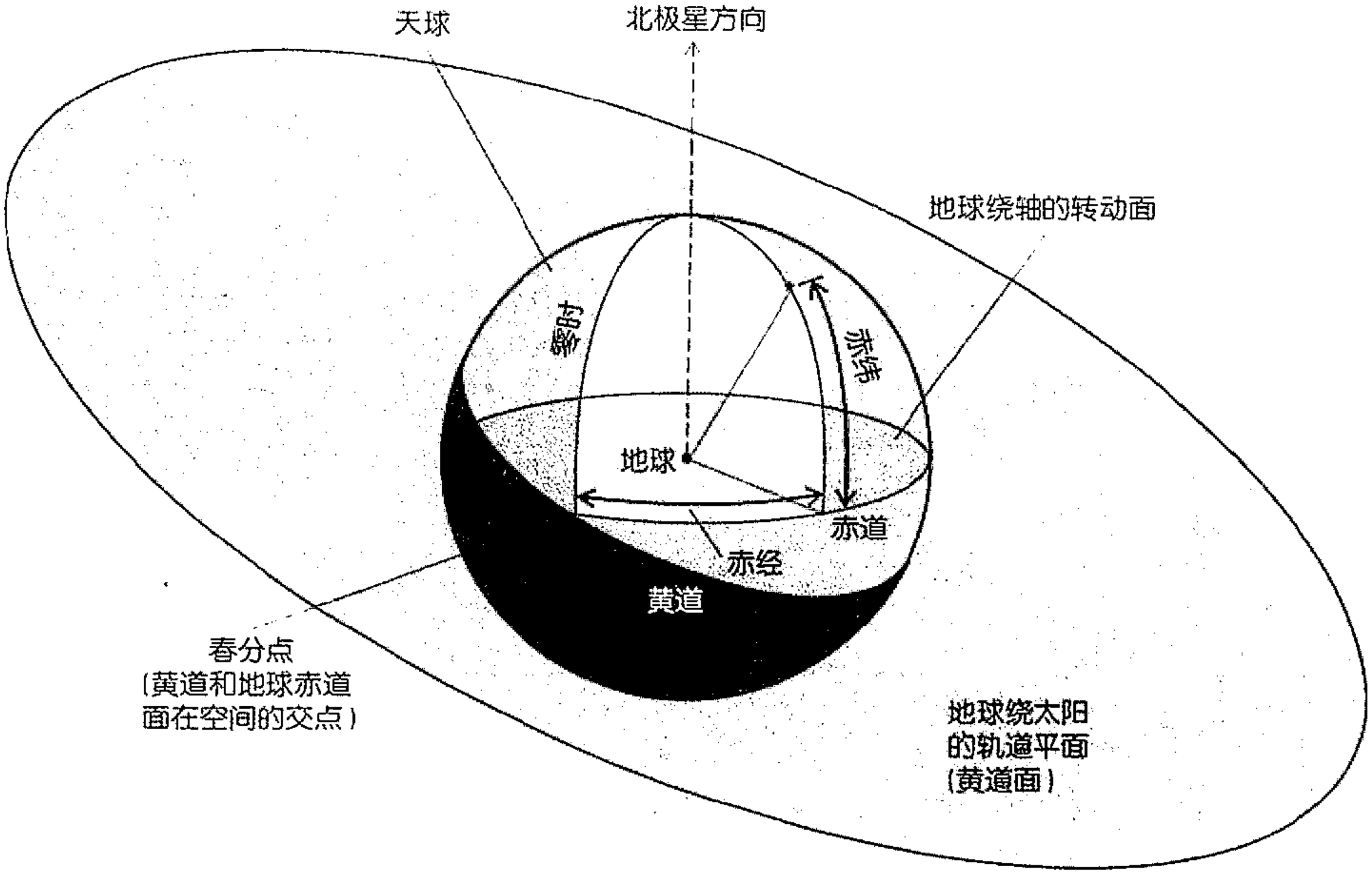
人们用数值坐标系记录天体的准确位置。这些坐标系就像地球上使用的经度和纬度坐标系。

已经创造了不同的天球坐标系。为使坐标系有用，必须考虑地球相对于恒星的两个有规的运动。一个是地球自转引起恒星所在的天球表观上每天绕地球转整整一圈。另一个是地球绕太阳的转动，使在特定时间恒星的位置逐日移动，而在一个整年后回到原来位置。

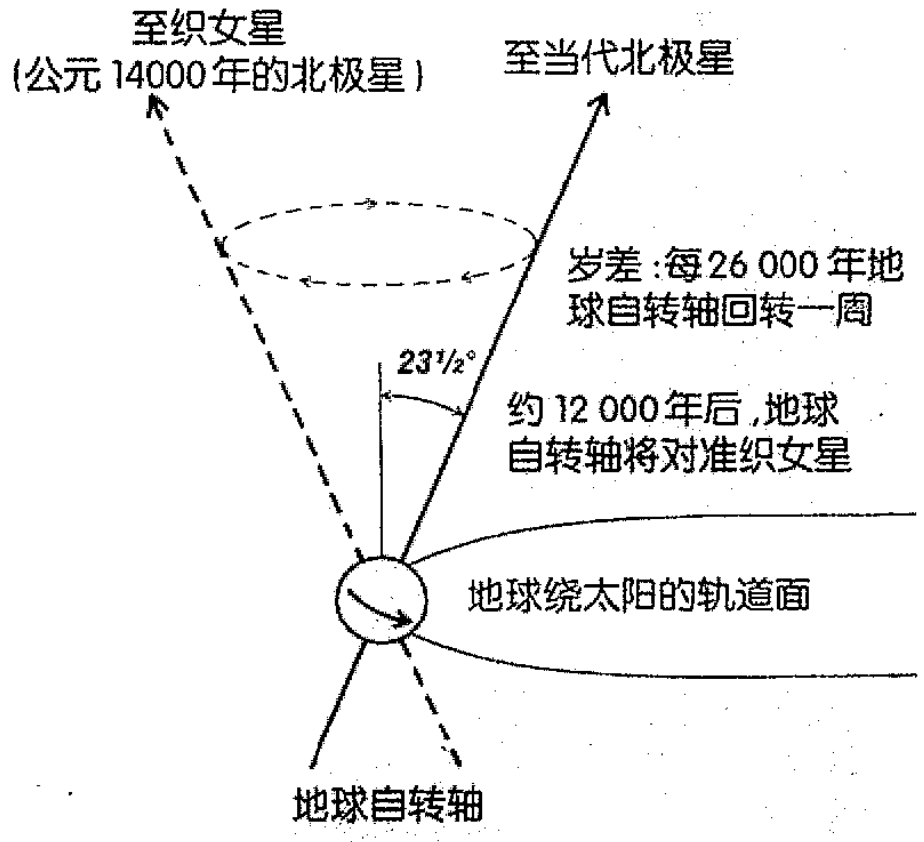
地平坐标系　它以地球的子午线和观察者的地平为基础。它使用了两个角度，即地平经度和地平纬度。地平经度记录恒星对子午线的角度，而地平纬度记录恒星对地平平面的角度。为使这个坐标系有用，观察的时间和所在位置必须准确知道。

赤道坐标系　它基于天球概念。全部恒星和其他天体都被想像为安置在围绕地球的大球上。这个球有几条想像的线和几个想像的点。其中的一条线是天赤道，它是地球的赤道在天球上的投影。另一条线是黄道，它是太阳每年在天球上视运动的路径。天赤道和黄道交于两点，称为春分点和秋分点。(当太阳通过这两点时，地球上白天和黑夜等长。)天球上的北极和南极，也是地球上的北、南极沿地球自转轴延伸到天球上。

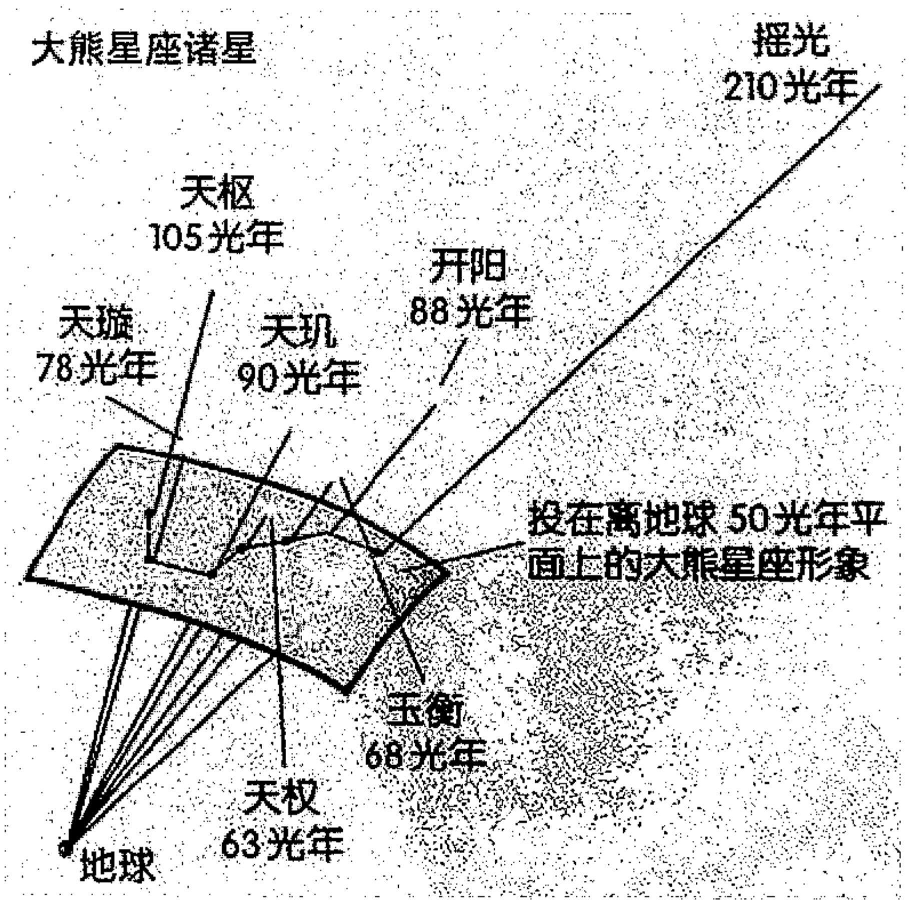
在赤道坐标系中恒星的位置由赤纬和赤经确定。赤纬从天赤道确定恒星的纬度，赤经从春分点确定恒星的经度。由于这个坐标系固定在天球上，地球上的任何点（两极除外）在这个坐标系中都连续地改变它们的位置。



在赤道坐标系中，恒星的赤经和赤纬不因地球自转而变动。恒星的位置视相对于春分点的角而定，春分点是太阳于三月份经过天赤道时与天赤道的交点。



岁差值很小，以至我们在一生中不会注意它。地球的自转轴的指向每 26 000 年回转一周。这意味着当地球自转轴循圆周旋转时，北极将指向不同的星，在有些时期指向没有星的空间。



大熊星座的七颗星似乎很靠近，实际上它们相隔很远。如有人在地球外的空间中的一点注视大熊星座，所见的星座外貌就不同了，甚至可以看到它们似乎完全互不相关。

恒星的真实位置

把恒星固定在想像中的天球上，对从地球上找到这些星是有用的，但它并不显示它们的真正的位置。量度邻近恒星对地球距离的一种方法是视差法。

科学家利用地球绕日的年运动，测量恒星的视差。这个年运动使我们在一年内的不同时间和不同位置观察恒星。在夏季，地球在太阳的一边。在冬季，地球在3亿公里外的太阳的另一边。用大望远镜相隔6个月摄取的邻近星的两张相片将显示，这颗星相对于更远距离的背景星已移动了位置。如果这个移动大到可以测量，天文学家就能计算出这颗恒星的距离。

4个多世纪以前，视差现象被用来反对哥白尼的地球绕太阳运动的建议。那个时代的科学家指出，如果存在这个运动，恒星将因视差而有所在方位的年变化。由于他们没有能力测出任何视差，他们得出哥白尼错了的结论。现在我们知道，一切恒星离地球都太远了，测量它们的视差是极端困难的。甚至用现代仪器也不能测出大部分恒星的视差。

天文学家用角秒作单位测视差。这是个很小的测量单位，等于将一个便士的硬币放在4千米以外所张的视角。除太阳以外，没有一颗恒星的视差接近1角秒。半人马座α，即南门二，是最接近太阳的三合星之一，它的视差也只有$\frac{3}{4}$角秒。

天文学家创造了一个距离单位，称秒差距——当三角形的底边为地球绕太阳的轨道的半长径，顶角为1角秒时，顶点与底边的距离。1秒差距等于30.9万亿千米。南门二约为1.3秒差距。

另一个用来记录天文距离的单位是光年。这是光在真空中行经一年的距离——约为9.46万亿千米。南门二是除太阳以外最接近地球的恒星，它离地球约有4.3光年。光从南门二到地球约需4年多时间。

视差的演示

你能够演示视差是怎样发生的。你需要一面墙，墙上有代表遥远恒星背景的图案。图案可以是一块花纹墙纸，或甚至是一条垂直的墙纸条。你还需要在房间的中心放一个站着不动的东西，它表示你正要测量视差的一颗较近的星。它可以是桌上的一个高花瓶也可以是依靠在沙发边上的长扫帚。把其中之一放在房间的中心。你站在房内和墙纸相对的墙边。花瓶或扫帚就在你和墙纸之间。

开始时，你站在太阳的位置上。你注意到花瓶和墙纸在一条线上。然后你往右跨出一步，这是地球在夏天里的位置。你将注意到花瓶在贴有墙纸的背景上往左移动。然后回到太阳位置，再向左跨出一步。这是地球在冬天里的位置，你注意到花瓶已在墙纸背景上往右移动了。这个眼睛看到的花瓶的运动，就是由视差引起的。

恒星距离的估计

每个恒星包括太阳在空间都有它自己的运动。太阳和其他恒星的这种运动，使它们相对于太阳的位置（它的方位）随时间而均匀地变化：时间越长，恒星方位的变化越大。由于太阳和恒星的空间运动引起恒星方位的年变化称为恒星的自行。其他情况相同，更近的恒星比更远的有较大的自行。这给天文学家提供了估计恒星距离的一个方法。

用这个方法不可能找出个别星的距离，因为没有办法知道某个自行究竟属于很远的快速运动的星，还是属于较近的低速移动的星。然而，一群星的平均的单个自行，却能告诉天文学家这群星的平均距离。用这个方法可以求出许多星的近似距离，这些星太远，不能用周年视差法来测量。

星光带来的信息

天文学家怎样知道恒星的成分？因为不能在实验室中分析恒星，天文学家只能研究到达地球的微弱的星光。幸而，电磁辐射，包括光，能够提供辐射源的许多信息。

可见光只是电磁辐射的一种形式。它们分成很多类。γ射线、X射线和紫外线比可见光更强有力，红外线和射电波比可见光弱。

电磁波的形式取决于它们的频率——即每秒内它们的波起伏多少次。高频率的波比低频率的具有更大的能量。γ射线具有最高的频率，而射电波只有低频率。

恒星发射出全范围的电磁辐射。恒星发射的辐射类别和恒星的温度有关：恒星的温度越高，发射的能量越大，而且更大比例的能量集中在高频辐射。摄谱仪能够把电磁辐射按不同频率分离。这个频率序列形成了恒星的光谱。

恒星的颜色也是它的温度的征兆。红光的能量小于蓝光。红颜色的星其大量能量必在红光中。白的或蓝的星有更大量更高能量的蓝光，所以它比红星更热。

在恒星的光谱里有明线或暗线。这些明线或暗线是电磁辐射中超强发射或吸收的窄区。某些化学元素例如氢和钙的存在，使恒星的光谱中出现一组特殊的线。由于恒星光谱中的大部分线已被辨认与某些元素有关，天文学家能够从恒星光谱确定它含有哪些元素。

光谱还有另一种用途。当我们观察来自光源的辐射时，辐射的频率将受到我们接近光源或离开光源的运动的影响。这就是多普勒效应。如果观察者和恒星互相分离，观察者将发现频率向较低方面移动。如果观察者和恒星互相接近，频率将移向较高方面。

天文学家知道许多化学元素的光谱线的正常频率。将这些已知频率和恒星同一组谱线的频率相比较，天文学家就能知道恒星正以多快速度接近或离开地球。

恒星的大小和亮度

恒星的大小和温度确定了每秒内辐射能量的多少，这是恒星的真正亮度。然而，恒星越接近地球，更多的辐射能将到达地面，看上去就更亮一些，这也是正确的。

天文学家用星等这个词表示恒星的亮度，用两种星等表示。目视星等涉及从地球看到的恒星的亮度。绝对星等则是假如一颗星离地球10秒差距远，它的目视星等的值。目视星等的值取决于恒星的大小、温度和对地球的距离。温度可以从光谱求出，如果知道距离，天文学家就能算出恒星的大小，并给出它的绝对星等的值。利用恒星的绝对星等可以比较恒星的真正亮度。

天文学家已经发现了各种各样的恒星——从巨大的很亮的超巨星到很密而冷的中子星。太阳的大小和亮度居于恒星的中等，被认为是个典型的恒星。最大的恒星是冷的超巨星：它们的表面温度低，但他们又如此亮，它们必须特别大才能辐射出这么多能量。在白矮星内，太阳那么多的质量被压缩到地球那样大的球内。一茶匙就重 10 吨。

中子星比白矮星压得更紧密：有可能太阳那么多的质量压缩到半径只有几千米的球。称为奇异天体的脉冲星被认为是中子星。在英国穆拉德射电天文台工作的乔斯林·贝尔·伯内尔博士于 1968 年观察到第一颗脉冲星。

物理学家还猜想存在黑洞，它是恒星经历完全的引力坍缩后的余体。这类天体密集到光也不能够从它的引力场中逸出。

星际物质

在恒星际空间，存在密度极低的气体和尘埃。这种物质倾向于集合成云。当它们遮住了来自更远处的星光、反射星光或被恒星加热而发光时，这些云被称为星云。

星际尘埃是由很细的粒子和颗粒组成的。虽然只有少数这类颗粒散布在几立方公里的空间中，但恒星间距离如此之大，使这些尘粒能挡住远处的星光。

已经发现许多小而黑的天区，那里只能看到极少的星，甚至一颗也见不到。这些是高于平均密度，厚度足以阻住在它后面星光的暗星云、尘埃云。

尘粒阻住的蓝光比红光更多，因此我们见到的恒星如果通过较厚尘云，颜色就有变化。确定这些星的温度必须估计它的颜色要比看到的更蓝一些，因为许多蓝光已消失于尘粒中。当尘埃云出现在亮星附近，它们常将星光向四面八方反射。这类星云称为反射星云。

星际气体的密度约是星际尘埃的 100 倍，但密度仍极低。气体不阻挡通过它的星光，因此通常很难察觉。当气体云紧靠一颗热星，这颗星的辐射激发气体发光。这就形成一类亮星云，如 HII 区域。远离热星的气体是很冷的，这些冷区称为 HI 区。

星际气体和大部分星一样，主要由最轻的元素——氢构成，并有少量的氦和只有微量的其他元素。在热的 HII 区，氢受激发光。在冷的 HI 区，氢辐射射电频率的波，大部分星际气体只能靠探测这些射电波确定方位。

氢部分以单原子、部分以分子（两个原子结合而成）形式存在。氢分子比氢原子更难探测，但它必定丰富。其他分子发出低频率辐射，也在星际气体中找到了。除氢原子外这些分子还含有其他原子：氧或碳出现在羟基（OH^-）和一氧化碳（CO）、甲醛（H_2CO）和许多其他包括许多有机化合物的分子中。

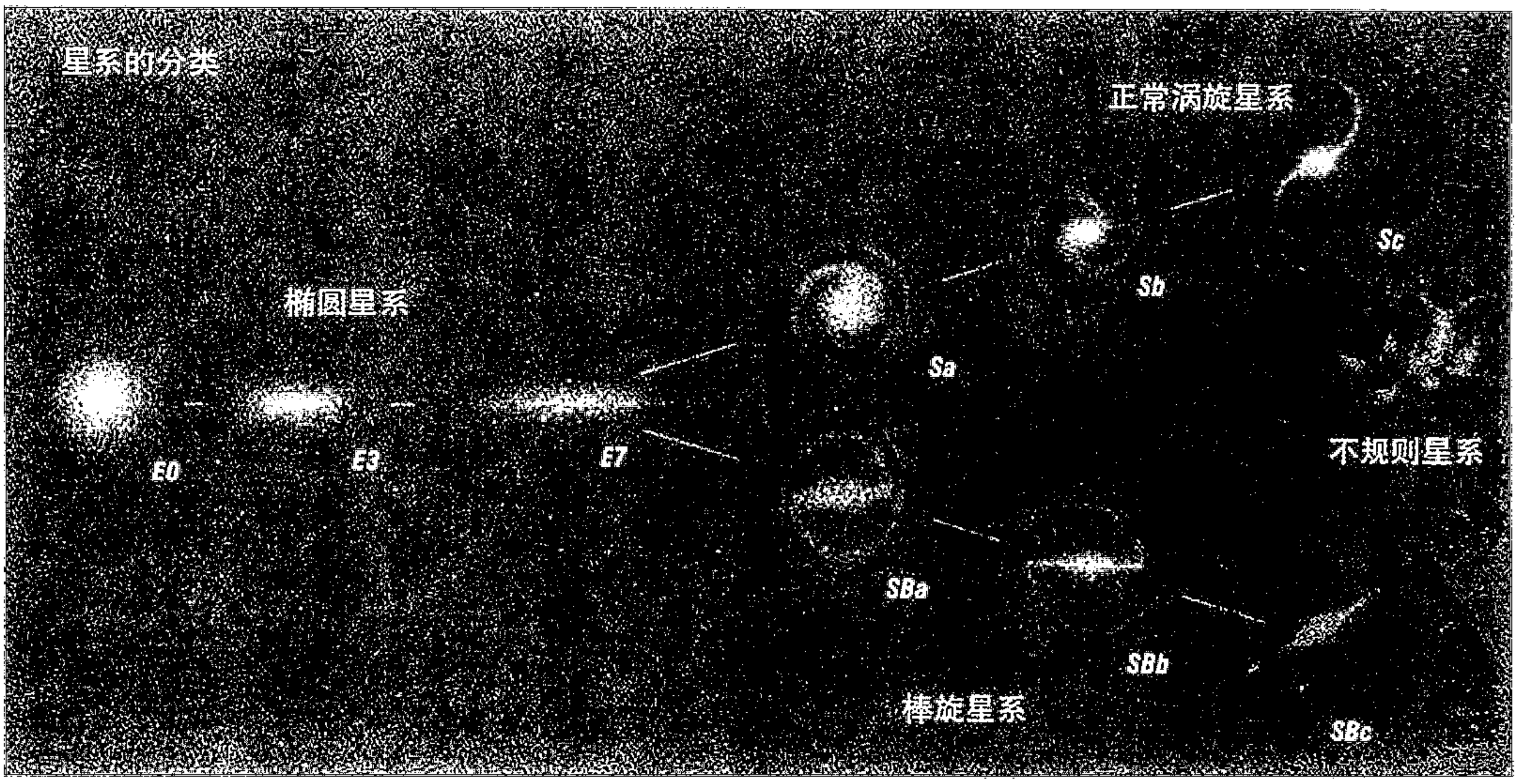
哪里有大量的年轻恒星，哪里就有大量的星际气体和尘埃。在高密度的星云的区域中，新的恒星不断地由气体和尘埃形成。虽然许多星将它们的物质抛回到星际区域内，星际气体和尘埃将慢慢地用完。天文学家推测，最终将到达再也没有新的恒星形成的时候，由于恒星一个接着一个相继烧尽，恒星系统将慢慢地暗淡无光了。

星系

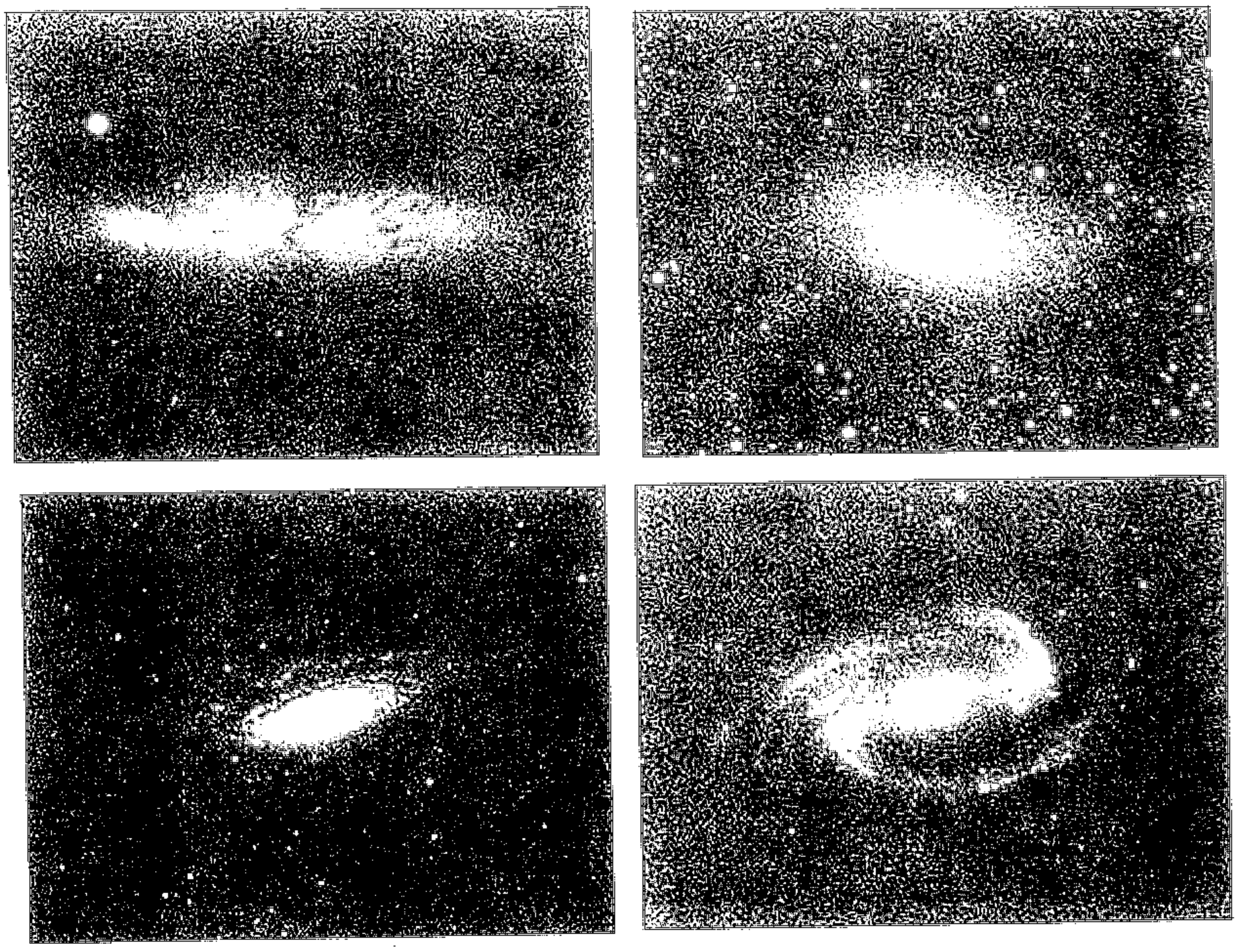
恒星的巨大集合称星系。科学家估计较大的星系有 1 万亿颗星，最小的少于百万颗。星系的直径能够超过 10 万光年。

星系可分成 4 个类型。椭圆星系显示没有或极少结构，外形从中等扁平到球形。涡旋星系有小而亮的中心区域或核心（星系核），星系臂从核长出，围绕核旋转、伸展，就像一个巨大的风车。在棒旋星系中，星系臂先向两边伸展短的直线，然后再环绕成螺线形状。这两个螺线系统都是扁平的。不规则星系通常较小，而且没有特定的外形或形式。

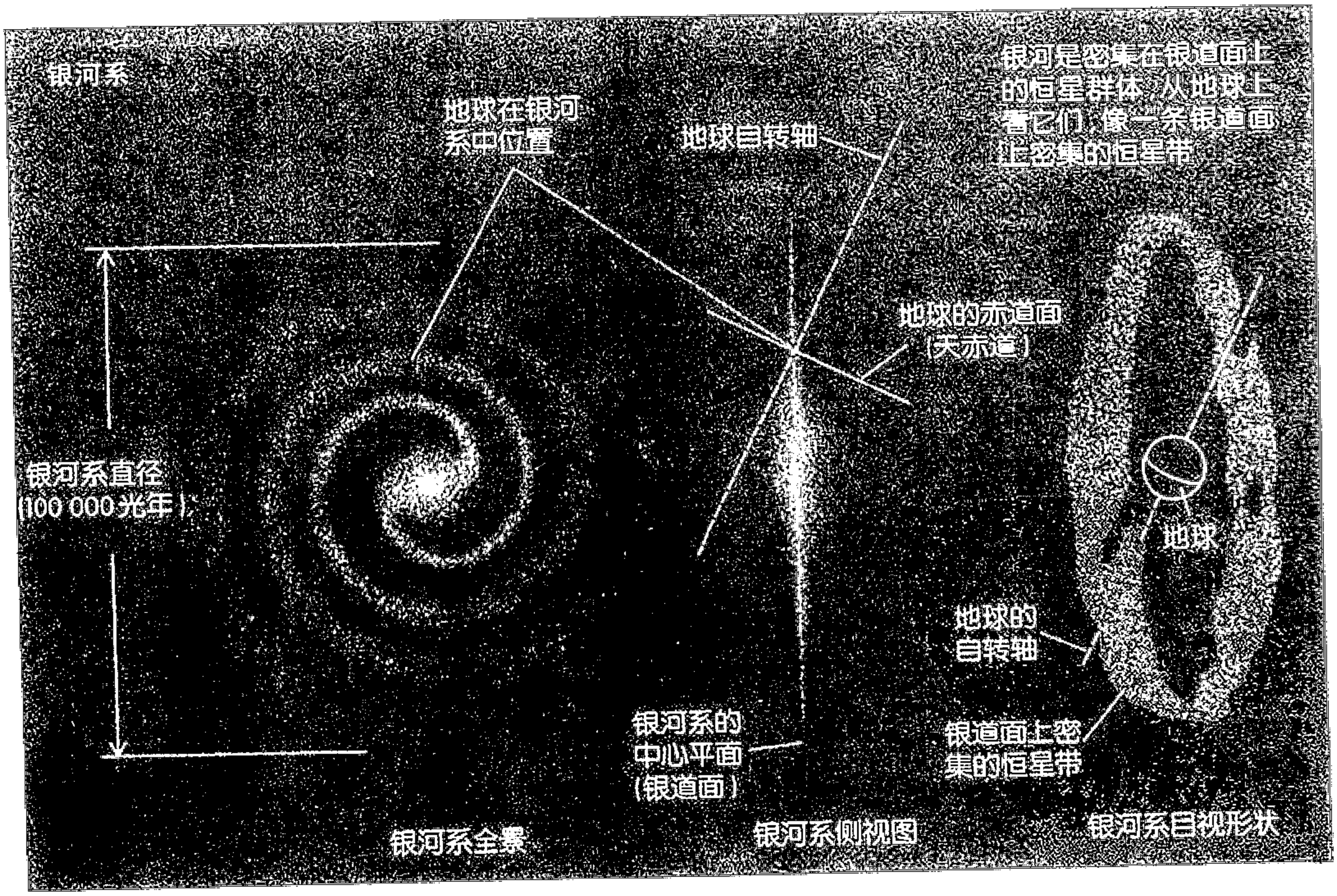
Photos, The Observatories of the Carnegie Institution of Washington



20 世纪 20 年代，埃德温·哈勃将星系按它们的外貌分为 4 个一般类型，然后再将每个类型分设子类型。至今仍用他的方法。



这 4 个星系说明了哈勃分类：左上边是在大熊座中发现的不规则星系 M82；右上边是椭圆星系，它是室女座星系两个椭圆伴星系中的一个；左下方是飞马座中的一个涡旋星系；右下方是波江座中的一个棒旋星系。



我们所在星系的名称来自肉眼可见的银河，地球的夜空中可见的一条恒星带。事实上，这条带是银河系的主要部分。由于地球位于银河系的中部，最靠近地球的位于银道面上的恒星，形成了银河，挡住了银河系的螺线结构。

星系长时间内或多或少被认为是无源天体，含有恒星和星际气体及尘埃，因它们的恒星发出辐射而变亮。当天文学家能够准确地观察来自空间的射电频率波时，他们因发现不少星系在射电范围内发射巨大能量而大吃一惊。寻常的星是这样热，以至它们的能量的大部分在可见光范围发射，只有少量辐射能在射电频率范围。而且，天文学家能够进一步推断这些辐射是具有极高能量的带电粒子在磁场中运动时发出的。

有这样强的射电发射的射电星系的外形常有点特殊。它们怎样将这么多的能量给与带电粒子和磁场呢？许多星系特别是射电星系已证明星际物质从星系中心向外膨胀，好像星系核中发生巨大的爆炸。巨椭圆星系 M87 附近有一股物质喷注，它明显地是早些时喷射出来的，喷注本身的规模像通常的星系。

另一个问题也困扰了天文学家多年。大多数（即使不是全部）星系是存在于星系团中，可能依靠成员的引力集合在一起。然而，测量这些成员的运动，发现几乎在任何事例中，这些星系团都像是不稳定的。星系运动得太快，快到依靠可看见的物质的引力已不能吸引在一起了。为什么星群在这样长时间内不瓦解？星系无疑地含有大量的暗物质，它们只发极少或不发光，所以不能直接被看到。这些物质有足够的质量，产生强的引力，使星群稳定。暗物质可能占全部宇宙物质的 90%。它可能是温度非常低甚至已死亡的恒星，也可能是其他形式的物质，也可能是大质量的黑洞。

银河系

和大多数恒星一样，太阳是星系中的一员。由于太阳和地球都包容在这个星系中，我们就难于获得这个星系的全貌。事实上你能见到的它的结构，只是淡淡的一道星带，称为银河，所以我们所在的星系被称为银河系。

这个银河星带像是环绕地球的一个大圆。这显示银河系是扁平的而非球形的。（如果它是球形的，就不能特别集中在一条带上。）太阳位于旋臂的较内部的边上。银河系的中心或核，离地球 30 000 光年，在人马座方向。无需望远镜能看到的恒星，全在银河系内。

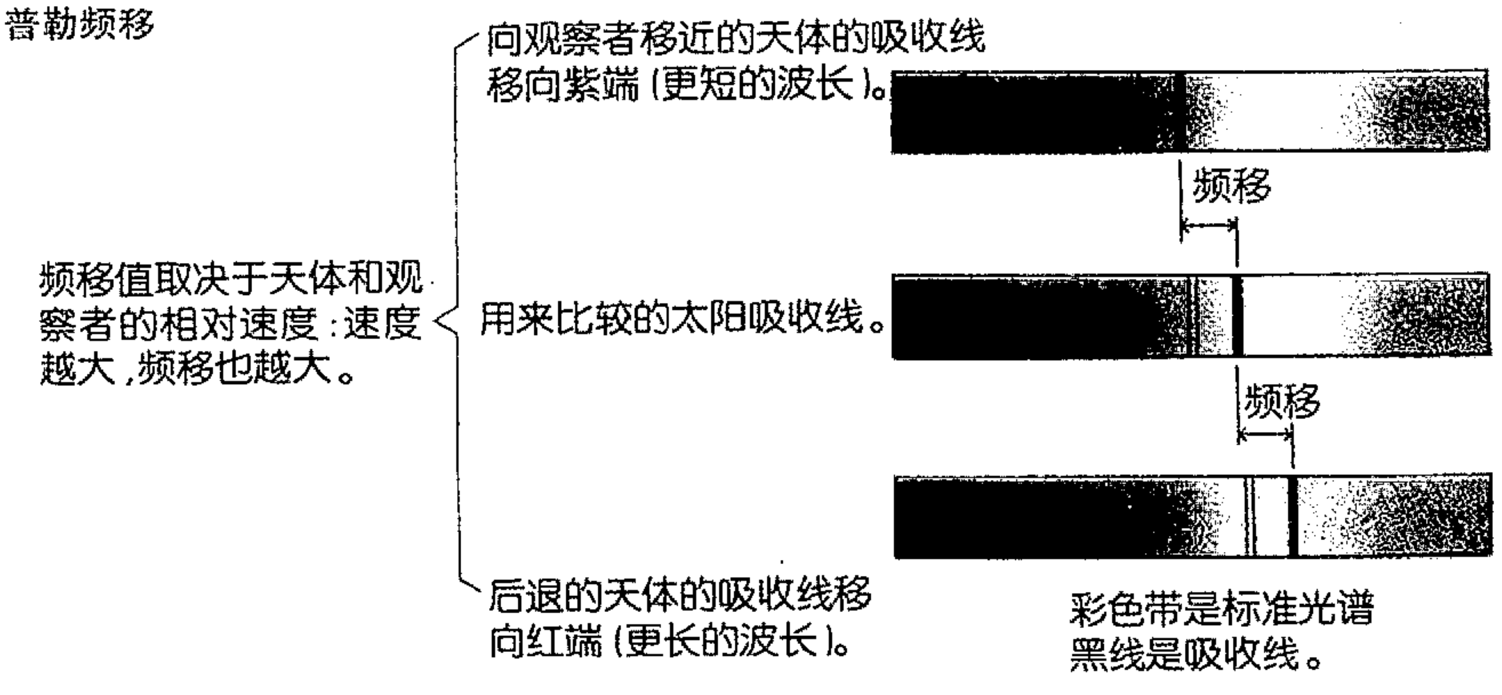
不是所有银河系的恒星都局限在银道面上。有些星位于盘面上面或下面很远的地方。它们通常是很老的恒星，而且它们形成银晕。显然银河系原来曾是一个粗略球状的气体物质。它的引力和转动使它坍缩成今天盘状的样子。在坍缩前形成的恒星保留在它们老的位置，但是坍缩后进一步的恒星形成只能发生在平盘内。

银河系的全部恒星都循轨道绕中心转动。太阳约 2 亿年完成一周。大部分恒星的轨道近乎圆形，并近乎同一转向。这给人以银河系整体一起转动的印象，正如整个银河系在空间中移动。为使恒星在引力作用下循它的轨道运动，有可能计算出银河系必须具有多少物质。通过这个方法，能够估算出银河系内恒星的近似数目。

星系的速度

根据多普勒效应，整个宇宙似乎存在一种普遍的关系：星系离地球越远，速度越大。这个关系提示总星系系统在膨胀。可以假设在过去某个时间这些星系居于空间中小得多的体积里，然后速度快的星系将远离原来位置，而速度慢的星系仍在近处。这个结果正像人们观察到的速度-距离的关系。

多普勒频移



根据奥地利物理学家克里斯琴·多普勒理论，当恒星或星系相对观察者往后退行时，这些天体的吸收线就往波长较长方向移动（红移）。当这些天体向观察者接近时，吸收线就移向波长较短方向（蓝移）。当接近星、退行星或像太阳那样相对静止的恒星的吸收线在实验室光谱的背景上显示，清楚地看到这些线位于光谱的不同位置。

20世纪60年代早期，发现了新的令人迷惑的类星射电源，即类星体。在照相底片上，类星体看上去常像通常的恒星，但它们的多普勒位移远大于星系。这暗示类星体以极大速度离开我们。

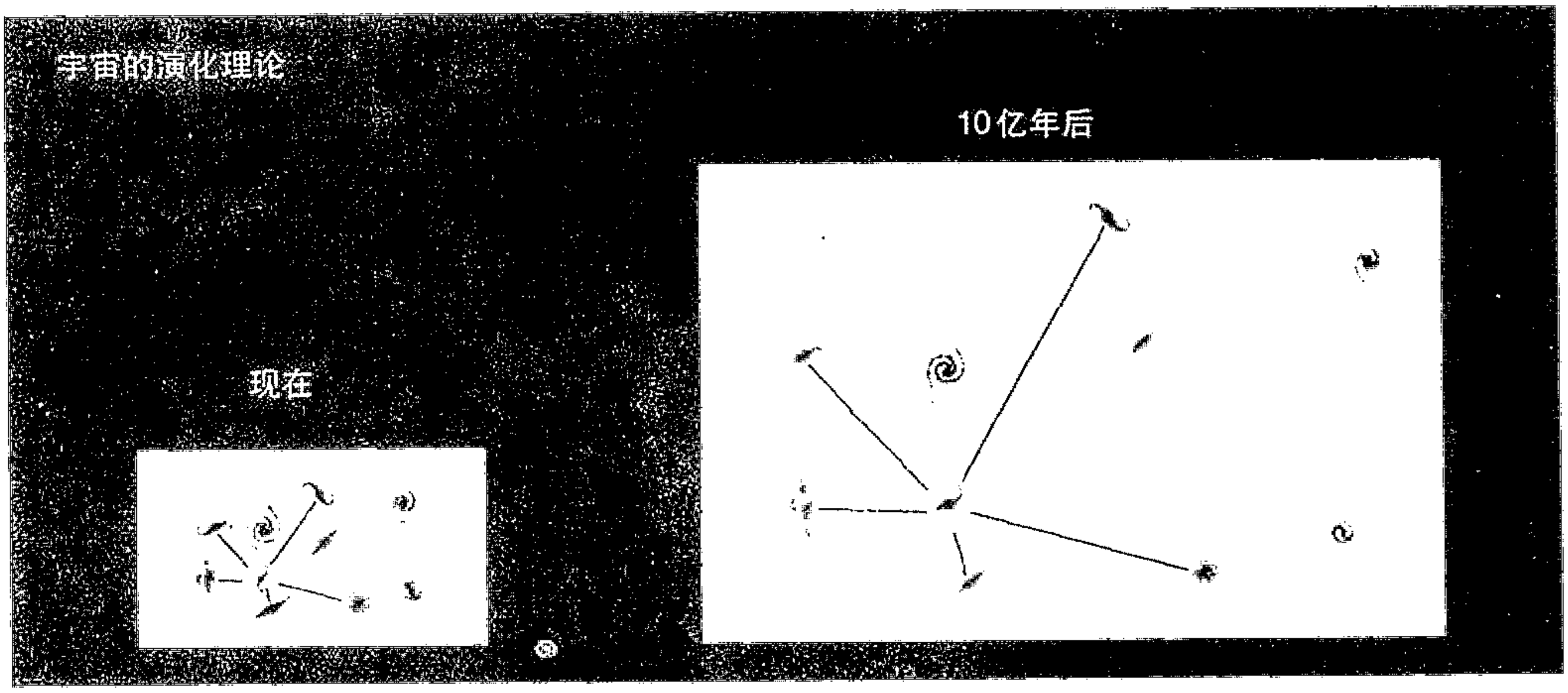
如果速度和距离的关系像适用于星系那样适用于类星体，则类星体离我们极远。如果真有这样远，它们甚至比巨星系的亮度更大。然而，由于它们的输出能量有周期为数月或更短的不规则变化，天文学家断定类星体小于通常的星系。最亮的类星体离地球约20亿光年。

宇宙

宇宙学科学地考察宇宙像什么。借助于和宇宙现象不抵触的假设，科学家建立了模型或理论，描述宇宙的整体，包括它的起源和未来。他们使用每个模型，直到发现与它抵触的事实。于是这个模型必须改进或舍弃。

宇宙学家通常假定宇宙除了小的不规则外，对任何观察者有完全一样的形貌（和完全一样的物理定律），与观察者处于宇宙中什么地点无关。这个未被证实的概念称为宇宙学原理。宇宙学原理的一个推论是宇宙不能有边，因为靠近边上的观察者和位于中心的观察者所见不会相同。因此空间必须是无限的，而且均匀地充满物质，换句话说，空间的几何学必须使每个观察者都看到自己处于宇宙的中心。天文学家也相信，除少许不规则运动外，能够发生的惟一运动是宇宙的均匀膨胀或收缩。

由于宇宙看上去正在膨胀，过去的宇宙似乎要比现在的小。这是宇宙演化理论的基础。如果追踪星系的过去，能找到众星系全部紧聚在一起的时候。对膨胀速率的观察，显示这个时间约在前100亿年到200亿年之间，这使我们有一幅宇宙从某种爆炸——大爆炸——开始的图像。一些宇宙模型预言，膨胀将永远继续下去。另一些模型说，它将停止，随着就缩回到原来的小体积。还有一种模型，提出宇宙将膨胀、收缩相继，反复振荡不已。



根据宇宙的演化或大爆炸理论，宇宙正在膨胀，而它包含的全部能量和物质保持不变。所以，在宇宙膨胀中，它的能量和物质的密度将逐步变小。左图表示宇宙的现状。右图中，10亿年后同样数量的物质将充满体积相对较大的空间。

宇宙学的稳恒态理论曾一度流行。然而，现在已被舍弃。稳恒态的基本假设是完善的宇宙学原理可应用于时间和地点。稳恒态理论认为在全部时间内宇宙有相同的大尺度性质；宇宙不能发展，并必须保持均匀。但宇宙看上去在膨胀，这使物质随时间进展，将扩展变得更稀薄，稳恒态提示，必须创造新物质以维持不变的密度。在稳恒态理论中，星系形成、生存和死亡，新的星系随即在原处来到，速率快到平均物质密度保持不变。

当天文学家观察远距离天体，他们看到的是它的长久以前的外貌，因为光的传递需要时间，对于一个远达10亿光年的星系，我们看到的是10亿年前的景象。远处的星系似乎和近处星系不同。它们似乎比近处的更互相靠近，与稳恒态论点相反，而与宇宙在过去有较大密度的观点相符。而且，还发现微弱的辐射均匀地来自各个方向。经计算证明，这是大爆炸遗留下来的辐射。

天文学家支持开放宇宙理论，相信宇宙将永远膨胀，因为他们相信宇宙是无限的。封闭宇宙理论的支持者相信在未来的某个时候，宇宙将停止膨胀，将开始收缩，直到难测的称为“大紧缩”的情况出现。

天文学史

在许多早期文明中，为建立可信的历法，有效地推动了

天文学的进展。在古埃及，天文学家兼祭司要负责预测尼罗河每年泛滥的季节。尤卡坦半岛上的玛雅人创造了一种复杂的历法，用来记录过去的日子和未来的探测。他们能够用他们的历法预言天文事件。

在中国，公元前14世纪已经有历法了。中国天文学家石申，画出了可能是最早的星图，图中画有约800颗星。中国历史书中还记录了彗星、陨石、太阳大黑子和新星。

古希腊天文学家知道天体的许多几何学关系。一些人包括亚里士多德认为地球是个球。出生于公元前276年的埃拉托色尼论证了地球的周长。喜帕恰斯生活在公元前140年前后，是才艺出众的天文学家。他将恒星按目视星等分类，估算月亮的大小和距离，找到预言日月食的方法，计算年的长度，准确到不超出6.5秒，还有许多其他成就。

历史上影响最大的古天文学家是亚历山大的托勒密，他生活于公元140年前后。他的天体的几何结构，预言了行星的运动。在他的观点里，地球居于宇宙的中心。他的理论近似于天体的真运动，经历了罗马帝国的灭亡，直到中世纪末期，仍被天文学家深信不疑。

中世纪西方的天文学停滞不前。在这几个世纪里印度和阿拉伯的科学成长不已。阿拉伯天文学家的著作和他们翻译的希腊的天文学教程，是较晚时期西方天文学高涨的基础。

1543年，哥白尼逝世那一年，他的地球和其他行星绕太阳转动的理论著作出版了。他的见解和当时的所有权威相抵触，引起了很大的争论。伽利略用他的对其他天体的观察支持哥白尼理论，如木星的卫星明显地不绕地球转动。

伟大的丹麦天文学家第谷反对哥白尼的理论。然而他的行星位置的观测数据，随后却被用来支持这个理论。第谷死后，他的助手约翰尼斯·开普勒分析了第谷的数据，并发展了行星运动定律，在1687年牛顿的万有引力定律和运动定律巩固了开普勒的定律。

同时，天文学家使用的仪器变得更精致了。从伽利略开始，望远镜用来揭示许多以往看不见的现象，例如卫星绕着其他行星转动。

19世纪早期的光谱仪的发展是推动天文仪器发展的重要一步。稍晚，照相术对天文学家提供了不可估量的帮助。他们可以在观察之余研究照片，并用显微镜量度它们。最新的仪器进展——雷达、射电望远镜、空间探测器和载人的空间飞行——也有助于解答老问题，并启发我们面对新问题。

考古天文学

考古天文学是考古学、人类学和神话学的多学科交叉的学科领域。它有时被称为历史天文学。最著名的史证是靠近英国索尔兹伯里的巨石阵，它用来观察天空。约在公元前1800年，由巨石和石梁（构成石门）组成惊人的大石阵，它们准确地按太阳在夏至（约在6月21日）时位置核准，这一事实在100多年前就知道了。

仅在不列颠诸岛上就至少有900个具同样性质的其他建筑。在法国西海岸的卡纳克，有9 000多个石建筑已被断言与天文学有联系。

爱尔兰都柏林西北的纽格兰奇，有建立于公元前3100年的新石器时代的墓。它也显示可能存在的早期天文知识。这个墓有狭长的墓道，并装有开顶的盒子，它似乎设计并制成让日光于冬至日（约为12月21日）早晨，短时间内进入墓室。

对古埃及的建筑的研究，也有早期的虽然不是史前的重要的天文知识的证据。吉萨的大金字塔的基础和指南针的四个点密切地排成一行，它的隐藏的北墓道沿着金字塔建筑时期（在公元前2686年到2160年间）的北极星较低的方位。在凯尔纳克的亚蒙大神庙的中轴线沿着图特摩斯三世（约为公元前1480年）时代仲冬的日出方向。附近的孔斯即月亮神庙是沿着远处的底比斯山修建的，即夏至时新蛾眉月沉落的最北端。

在公元1世纪到10世纪中由玛雅人写成的德累斯顿抄本内，包含有天文学的诸计算——日食和月食的预言表，金星的会合周期——达到惊人的准确。当今的墨西哥和危地马拉的庙宇和金字塔的结构常和天文现象相关联。

大平原印第安人留有称为药（魔）轮的石阵，沿着落基山脉东麓，从科罗拉多到艾伯塔和萨斯喀彻温都有发现。其中最著名的一个位于怀俄明州的谢里登西面的比格霍恩山的梅迪辛山的顶上。只在夏季容易上山，已经通过计算使粗砂石的排列与夏至的日出日没和亮星有关，考古天文学家估计约在200年到400年前构建这个石阵时，可以看到这些亮星。另一个药轮位于东南萨斯喀彻温的穆斯山上，显示同样的天文学关系，但估计记录时期约在2600年前。

在南太平洋也已找到不少石阵。这类在陆地上的石阵在海中自然无用，但它已经提示这些遗址用于观测并训练航行者在离岸之前确定正确的导航星。例如，密克罗尼西亚人和波利尼西亚人利用同一方位升起或落下的一串亮星。加罗林岛上的人，以32颗星罗盘确定方位，如用织女星、昴星团和其他恒星。

考古天文学的另一方面是太阳表面的黑子和黑斑的研究，它们按11年为一周期影响地球的气候。中国人的出现黑子的记录长达2 000年之久，伽利略于1610年首次研究黑子的细节。经测量，有些黑子的直径长达40 000千米。黑子能持续几个小时到几个月，这取决于黑子的大小。黑子的温度超过1 500°C，低于太阳表面的其他部分。

撰文：Dr. Gerard P. Kuiper 和 Dr. Thomas L. Swihart

太阳系 SOLAR SYSTEM

当太阳在天

空中以每秒约 241 千米急速行进时，它带着比它小的一些天体同行。太阳和小的伴星合起来便是太阳系。整个太阳系每 2.25 亿年绕银河一周。太阳系中太阳外的成员的大小范围，从巨大的木星，到名为微陨石的小微粒或更小的粒子——星际气体的原子与分子。地球就是太阳系中最大的天体之一，尽管它比太阳或木星小得多。

天文学家尚不知太阳系究竟伸展到多远。太阳最外边的行星冥王星的远日点（距太阳最远的位置）距离太阳 72.4 亿公里，有许多彗星离太阳比冥王星要远几百倍。但即使在这样远处，太阳的引力仍起作用而能把彗星带回。在太阳系外围有几十亿颗彗星，形成了一个个的稀薄的晕。每个彗星像一巨形雪球，其直径约从 300 米到 3 000米。

太空中的太阳系

太阳	
质量	2.2×10^{27} 吨，或地球质量的 333 400 倍
直径	1.4×10^{6} 千米，或地球直径的 109.3 倍
体积	1.4×10^{27} 立方米，或地球体积的 1 300 000 倍
平均密度	1.41 吨/立方米，约为地球密度的 1/4
自转周期：	
赤道处	26.9 地球日
近两极	31.3 地球日

太阳系以太阳为中心，太阳是在银河系中旋转的众多恒星群中的普通一员，银河系则是一风车状的巨团。银河系中存在恒星数的数量级，当在 1 000 亿左右。

因天文上的距离是如此之大，而使天文学家常以光年为距离单位。1 光年就是光 1 年所走的距离，或9 462 942 000 000千米。用 1 光年比用其对应的公里数，要方便得多。

银河系宽约 100 000 光年。在银河系中，离太阳系最近的是三合星系半人马座 α 和半人马座比邻星，距太阳约 4.3 光年。银河系之外，尚有超过几十亿个的星系向空间延伸。有的远比银河系大，而有的则比其小。几乎所有这些星系中都包含有几十亿颗恒星。

天文学家无法看到宇宙的尽头，宇宙是广大的空间，在其中存在有众星系和所有的一切任人皆知的其他物质与能量。但根据观测估计，其他星系和天体距太阳有 50 至 150 亿光年之远。与此相比，我们太阳系所占的空间，就实在太小了。

太阳系的成员

尽管太阳系自身与到众多的星系以及最近的恒星的距离相比要小得多，但比地球上的距离却要大得多。系中情况也大有差别，从炽热的气态太阳气团到冷暗的冥王星。

太阳

太阳是太阳系的中心成员。它的引力将系中的其他成员拴在轨道上，并支配其运动。太阳的质量超过其他成员质量的总和。实际上，其质量占整个太阳系的 99%。

不过，太阳仅是一颗大小一般的恒星。假如它离地球像多数恒星那样的远，那它看起来就不会比它邻近的恒星更大和更亮。可是，它是最最靠近我们和惟一可观察其表面细节的恒星，也是科学家得到恒星行为的主要来源之一了。（见：恒星）

太阳几乎提供了在我们的行星上生命所需的所有的热和光以及其他形式的能量。事实上，太阳几乎提供了太阳系全部的能量。它的引力支配着行星和其他天体的运动。从它表面射到各行星上的各种各样的电磁辐射，为后者所吸收。但其中也有小小的例外，这就是：从别的恒星来的弱光，各行星内放射物的蜕变，木星发的长波电磁辐射和来自遥远外空的无线电波和 X 射线。

大行星

一般就简称之为行星。在太阳系中次于太阳的质量与体积最大的成员，就是 9 个已知的行星。即使如此，其总质量也不到整个太阳系的 0.2%。

各行星绕日运行的有规则的轨道全近乎圆形。水星轨道最近太阳。其次为金星，接着地球、火星、木星、土星、天王星、海王星，最后到冥王星。其中冥王星的轨道为最偏离圆的椭圆形。当冥王星在其近日点时，则比海王星更近太阳。

众行星的运动相互间颇有相似之处。各行星绕日轨道几乎共在同一平面上，这平面就是太阳的赤道面。冥王星的偏差最大，其轨道面与地球绕日的轨道面成 17°角。其次为水星，与地球轨道面成 7°角。其他行星轨道面与地球轨道面之夹角在 3°30′以内。

行星可按其距太阳的远近或其物理性质来分类。例如，水星和金星的轨道在太阳与地球之间，而称之为地内行星（或近日行星）。轨道在地球之外的，为地外行星（或远日行星）。或者，行星可按其所处的位置，分为内行星（水星，金星，地球和火星）和外行星（木星，土星，天王星，海王星和冥王星）。

之所以这样分类是由于 4 个内行星的构成相似——多由不同比例的硅岩和铁所组成——而 4 个主要外行星中，由木星到海王星，是有较稀而深的大气层的巨星。因

为木星是这群中的突出代表，所以这4颗星又称为类木行星(Jovian)。这些行星含大量的气态和液态的氢和氦。冥王星则例外，它比其他行星小得多，其成分主要为氮。

行星数据表

星名 数据	水星	金星	地球	火星	木星	土星	天王星	海王星	冥王星
距太阳的平均距离（天文单位）	0.388	0.722	1.000	1.524	5.203	9.539	19.19	30.06	39.6
平均直径(地球=1)	0.382	0.949	1.000	0.529	11.21	9.45	4.01	3.88	0.18*
质量（地球=1）	0.055	0.815	1.000	0.107	317.7	95.15	14.53	17.15	0.002*
对恒星的公转周期（地球年）	0.24	0.62	1.00	1.88	11.86	29.46	84.01	164.8	247.7
对恒星的自转周期(d=地球日)(h=地球小时)	58.65^{d}	243.01^{d}	23.934^{h}	24.633^{h}	9.83^{h}	10.23^{h}	17.2^{h}	16.11^{h}	6.39^{d*}
轨道平面与地球轨道面之夹角	7.00°	3.40°	定为0.00	1.85°	1.32°	2.49°	0.77°	1.77°	17.1°
大气中的主要成分	无	二氧化碳氮	氮、氧、氩、水**	二氧化碳、氮、氩、氧	氢、氦	氢、氦	氢、氦	氢、氦甲烷	氮
已知的卫星数	0	0	1	2	16 +星环	24 +星环	15 +星环	8 +星环	1

*据最佳的现成资料。

**还有二氧化碳、氖、氪、甲烷、氦、氧化氮、氢、臭氧和氙。

其中的7个行星，有较它小的天体——天然卫星——绕其旋转。土星的卫星最多，有24颗。地球和冥王星，各有一颗卫星。这两者的卫星相对行星本身是如此之大，使其与其所绕之行星构成了一个行星-卫星体系，有时就被当成一双星系。木星的木卫三和土星的土卫六都比水星大。木星、土星、天王星和海王星的星环，就是由无数极小的卫星形成的。

小行星

有众多的比大行星更小的天体，其中大多数在火星与木星之间绕太阳旋转。这些天体就是小行星。谷神星是其中最大的，直径在965千米以上。有少数小行星的直径超过160千米。而估计大多数的直径，不会超过1.6千米。据估计，太阳系中有数百万颗砂砾大小的小行星。

太阳系中，全部小行星的总质量大约只有谷神星的3倍。其中许多更小的，则被认为是较大小行星互撞而生的碎片。其中有些碎片以陨石的形式碰及地球。这样就可使科学家断定其成分与年龄了。有些小行星被认为含有在其中形成太阳系的大云团的原始物质的样本。

彗星

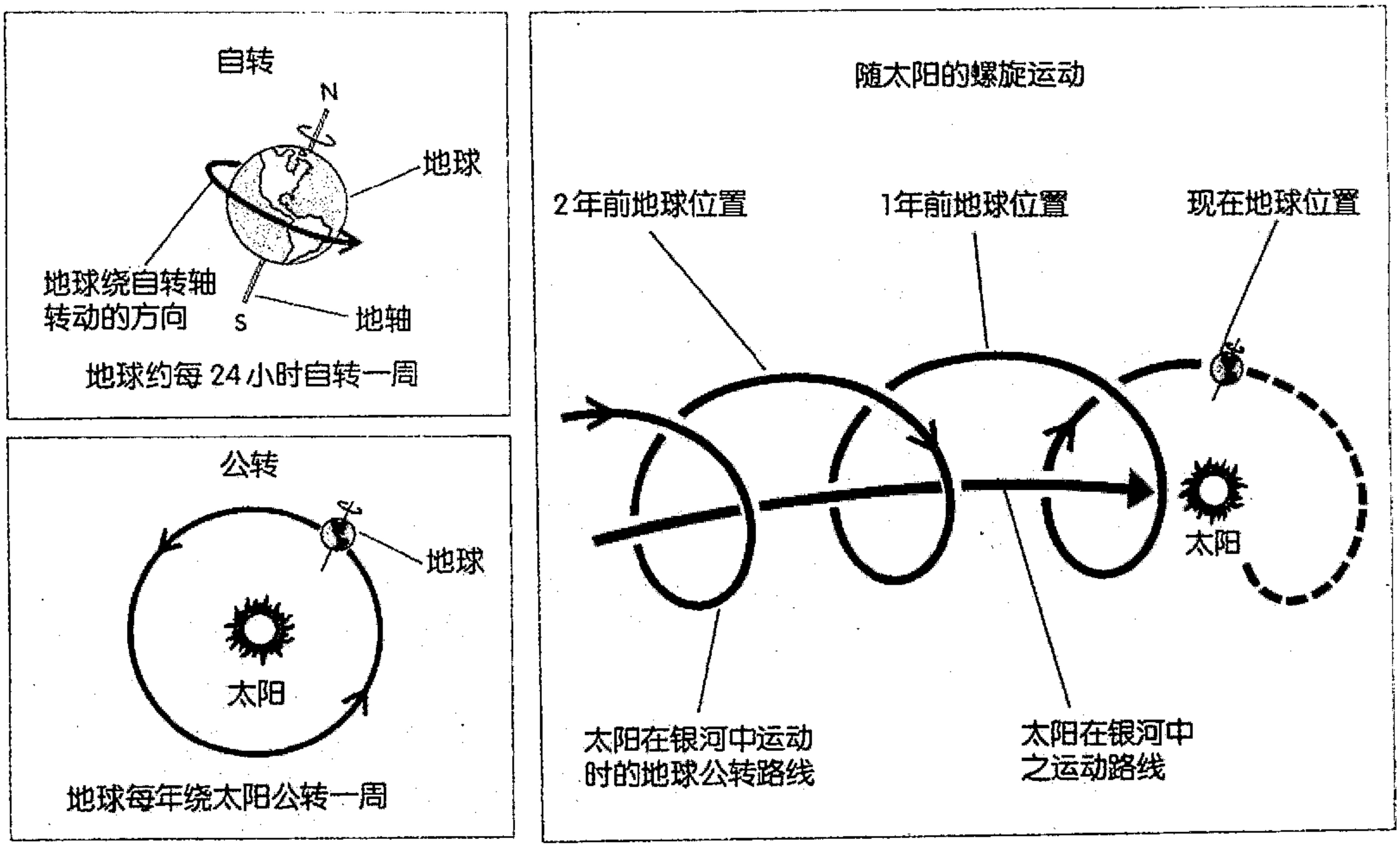
天空中会不定期地出现一模糊的也许还带尾的亮光点。这种彗星的出现甚为壮观，但并不常有。多数彗星只能靠望远镜看到而检测出。偶尔肉眼也能见到，在一个世

纪中，甚至有几次能在白天看到彗星。

彗星中含有尘粒及在地球上为气体的物质冻结而成的冰块。当彗星行近太阳时，其冰粒化为蒸气，在剩下的彗核的大量固体粒子周围形成了一模糊的气态彗发。当彗星更近太阳时，有更多物质被蒸发。由太阳冒涌出的高能粒子将这些物质推离彗星，形成一总是背离太阳的长尾。

天文学家还无法确定彗星的质量，因其质量小而在靠近我们时，不足以影响其他天体的轨道。例如，在木星诸卫星附近经过的一彗星，并不影响前者的轨道运动。但该彗星的轨道则缩短到原长的$\frac{1}{4}$。

太空中的地球运动



这种证据导致天文学家得出“彗星质量不到地球的10亿分之一”的结论，或许大多数的质量还要小。彗星中有一长1.6千米多的冰核。因受太阳之热，核中物因热分解，气体与微粒从彗核流出。彗星不是最后完全瓦解成一大群小微粒，就是成为一仍绕日而行的小行星状的星体。

行星际物质

有许多物质——如来自彗星的碎片、石块和像微小行星那样的金属屑——在行星际空间中绕行。这些碎块就是微陨星体。微陨星体常与地球相撞，在大气中往往与空气分子摩擦生热而挥发。这些粒子因挥发而生一亮光带，就成了一颗流星。偶尔，大岩石与金属一直落到地面上。这种残留物便是陨石。（见：**流星和陨石**）

还有比微陨星体更小的粒子存在于行星际空间中。有直径小于千分之一厘米的微粒像下雨似地不断落到地球上。有些天文学家估计：每天约有上百吨的这样的微小陨石落在地球上。

微小陨石是星际空间中的尘粒。这种尘粒的分布，看来在沿大行星绕日运行的轨道平面上特别浓密，这平面也是黄道星座平面（见：**天文学**）。在晴天夜晚，可在日落后或日出前见到一沿黄道带的辉光。这辉光差不多和银河一样亮。科学家们相信：这是由集于大行星轨道平面处的行星际尘埃对阳光的反射所引起的。

太阳发射出不少的物质到行星际空间中去。和不断离开它表面的电磁波一起，太阳还给出带电粒子——电子和原子核。这一粒子流便是太阳风，它的散播越过诸大行星，逸出了太阳系。与地球相遭遇的那部分太阳风则会引起极光。（见：**天文学；极光；地球；太阳**）

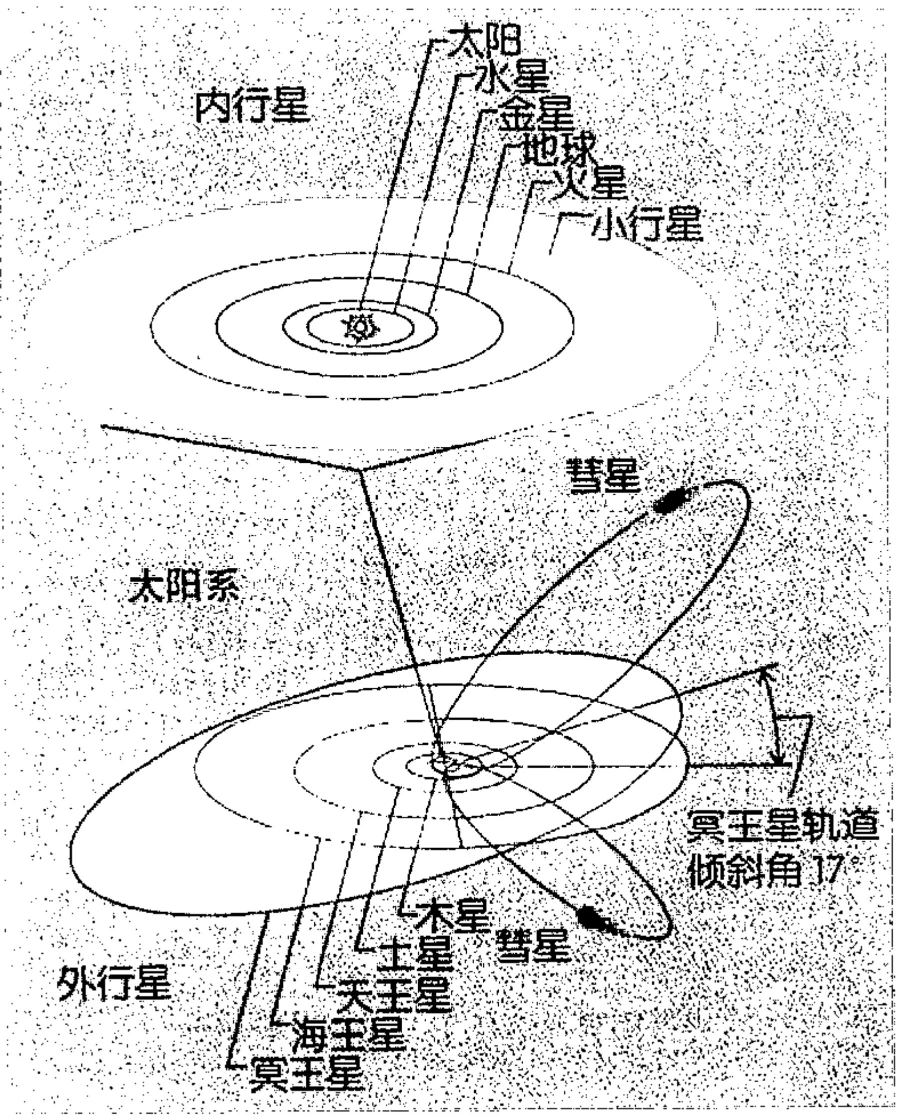
空间探测器

人类给太阳系添了不少件东西。这些是自1957年东方Ⅰ号人造卫星发射以来离开地球的空间探测器和人造卫星。人造地球卫星提供了有关地球高大气层和更高处的情况的信息。还用它对地球磁场作过研究，研究了太阳辐射与地球大气的作用，微小陨石的成分密度，同时研究了围绕地球大气层的太阳风中的微粒。

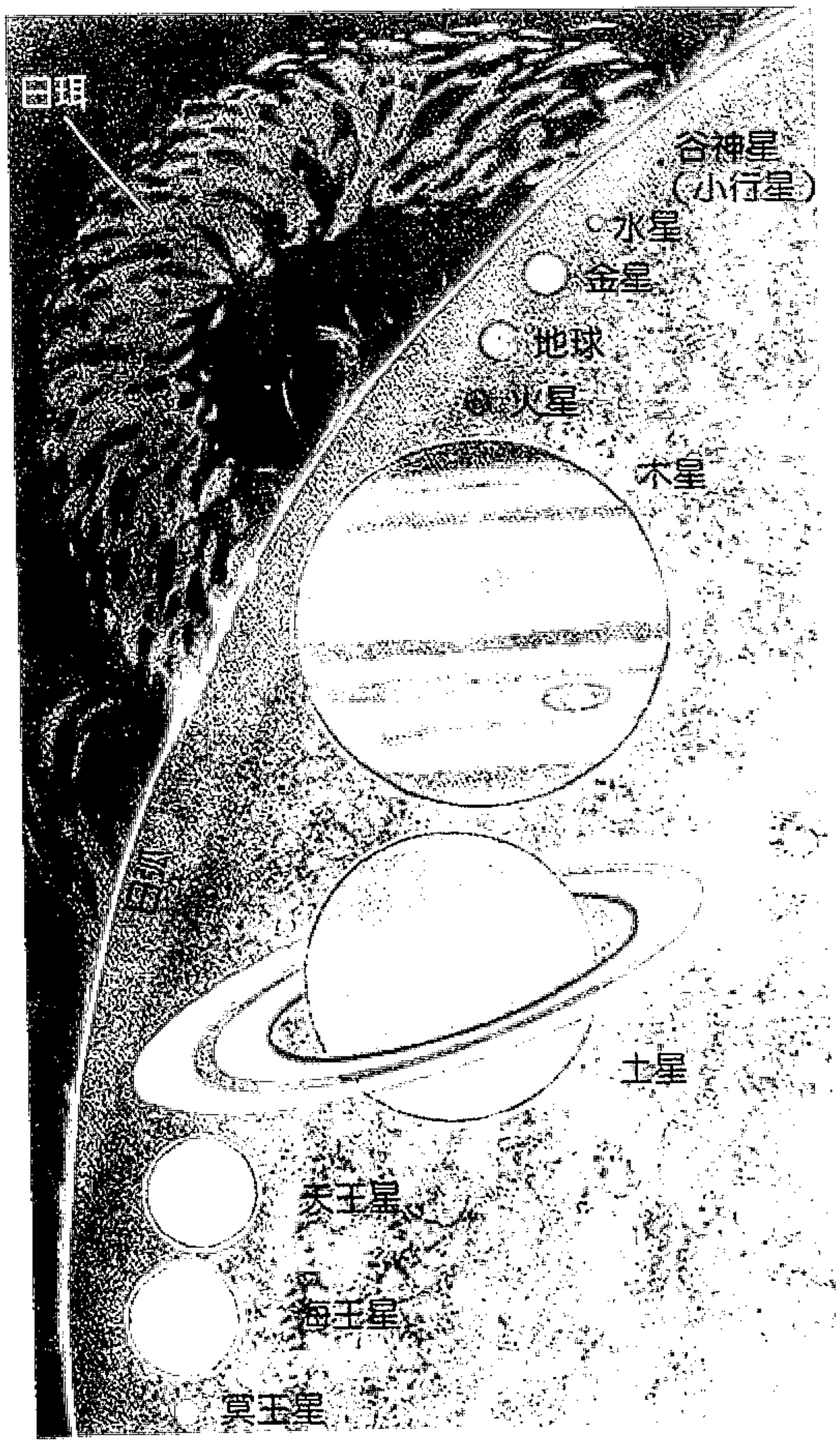
空间探测器和载人飞船在月球上着陆。现在已将无人探测器送上金星、火星和木星。这些探测器中装有研究这些行星表面各种情况（温度、压强、密度和化学成分）的仪器设备。

太阳系的过去和未来

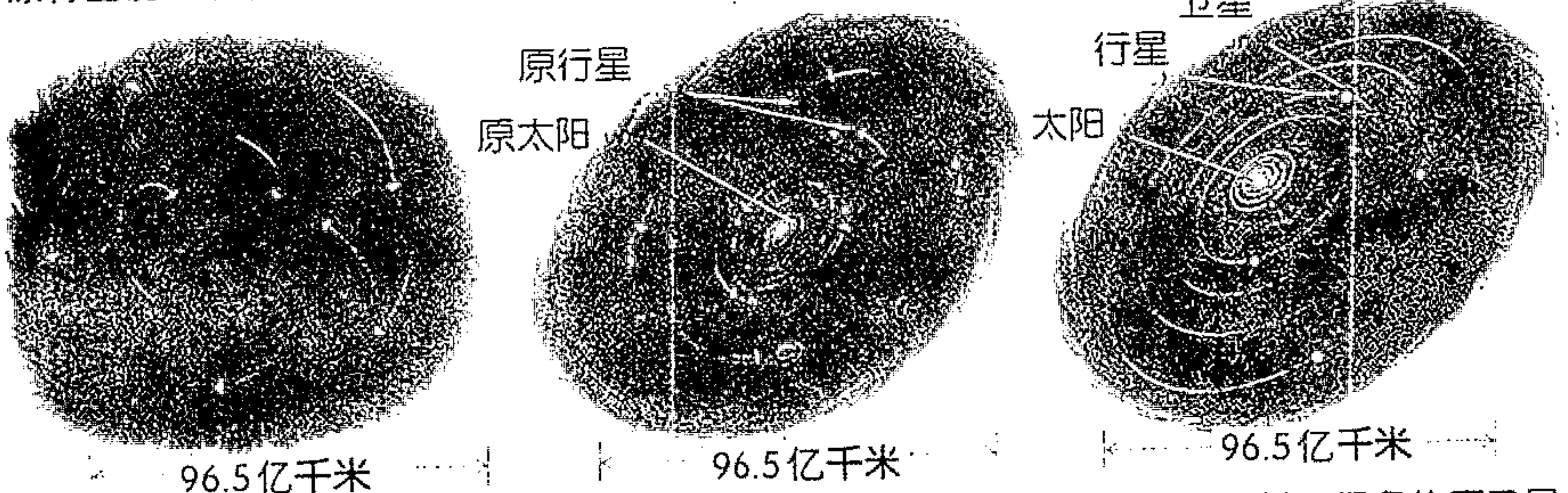
有多种理论来描述太阳系的起源。由于这是发生在很久以前的事，而涉及的距离（从地球的标准来看）又是巨大的，所以要想得到太阳系起源理论的充足证据是非常困难的。从空间探测器取得的信息资料，则是最重要的证据来源。



九颗已知行星以椭圆轨道绕日而行。小天体——小行星则集中在火星与木星的运动轨道之间。这些星体几乎共一平面。彗星往往具有更长扁的椭圆轨道。各大行星,也许还包括大多数小行星在内,在空间的运动和地球在空间的运动相似。



原行星说之示意图



一旋转气云团中的引力使它收缩并自旋。

该气云团向外抛出物质,将其质量大小缩为原来的十分之一;它的自转变快时,便会在原太阳的外围形成叫做原行星的密集物质团。

原行星和比其小得多的原卫星抛出其中的一些物质,而继续凝固成后来的行星和卫星。

原行星假说中主张:太阳由一盘形旋转气体生成。部分围绕早期原太阳的盘边为一高密度气体区,后收缩成为原行星。原太阳和原行星中有不少物质被辐射所吹走。剩下的部分则凝结成后来的太阳、大行星和天然卫星。

由杰勒德·P.柯伊伯和托马斯·克劳德·钱伯林开辟的原行星理论主张：太阳系是太阳自身形成中的副产品。星际空间中的一团巨大的云状物，经收缩而形成太阳星云，后来就发展出一稠密的中心——原(始)太阳。当外边的云绕原太阳旋转时，万有引力使太阳星云中形成许多稠密的团。这些团再进一步收缩成一些缓慢自旋的原行星。当原太阳受引力吸引而收缩时，它就愈来愈热，而把云的其余部分赶到太空中去。一些原行星也失去了其外围层，但还剩下有足够的部分来收缩成后来的行星。在比这些小得多的规模上，原卫星也就演变成了后来的卫星。

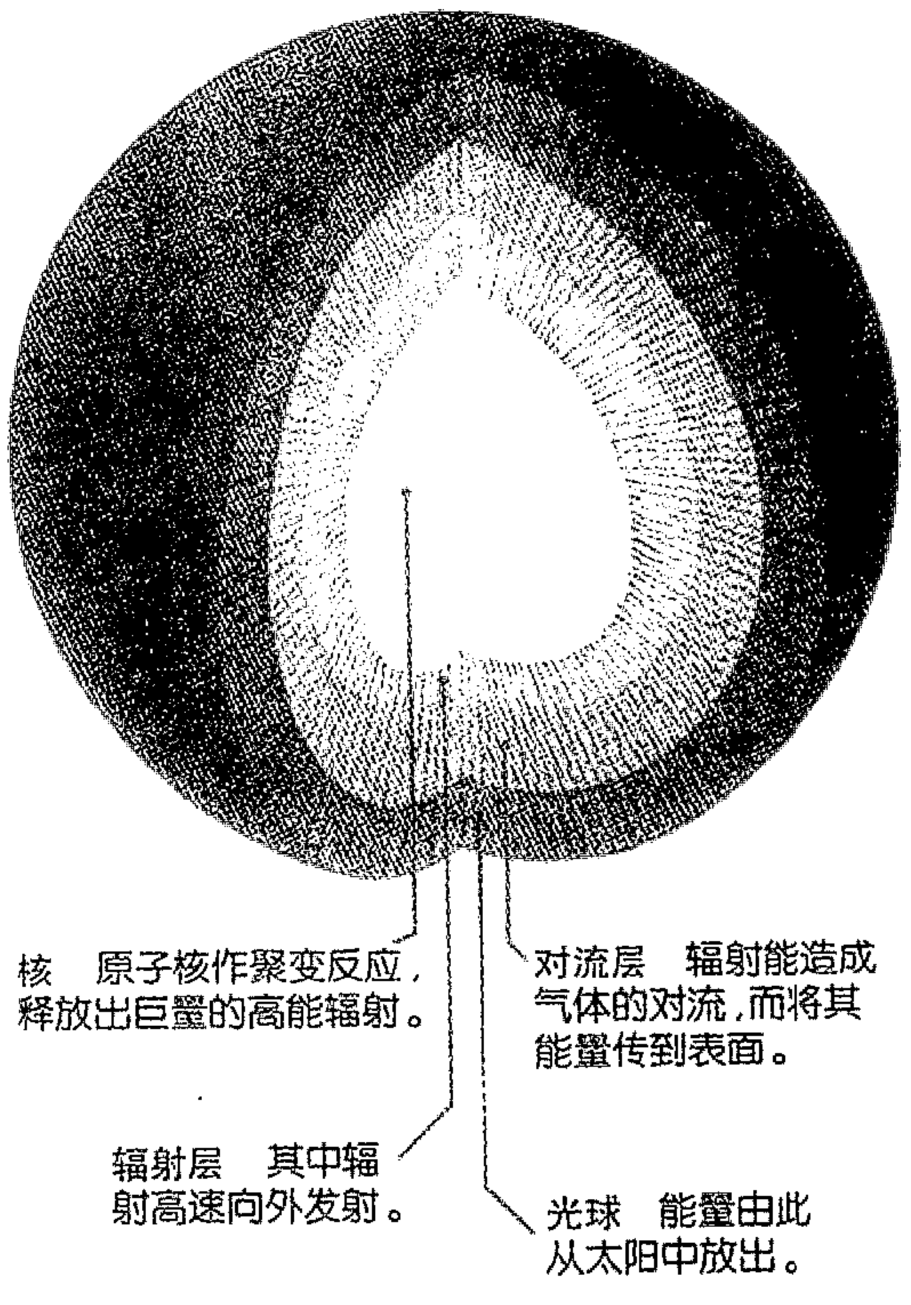
也许，太阳系的未来依赖于太阳自身的行为。如果当前的一些恒星演化理论是正确的，则再过40亿年或50亿年，太阳几乎还是现在的大小和温度。但到那时，其中所有的氢都烧完了。而涉及氦和其他重原子核的反应就接着开始。于是，太阳就要变亮和变大得多，而成一红巨星，它向外膨胀出金星的轨道，甚至会吞没地球。又过很久，当它的所有核能都耗尽，太阳就开始冷下来，逐渐地变成了白矮星。它温度下降，变成一密实而不发光的死物——黑矮星。其外围则是剩下的循轨道运行的一些行星。这些行星此时都变成了冻块，而绕着这颗缩瘪的恒星转动。

审订：Gerard P. Kuiper

太阳 SUN

虽然太阳不过是个普通的恒星，但对地球上的居民却至关紧要。实际上，太阳就是地球惟一的能量来源。不过，地球只接受了$\frac{1}{5\times10^8}$的离开太阳的能量。由于太阳的能量如此巨大，在研究它时，真有些不安全。强热的阳光能破坏视网膜细胞，使人致盲。因此，对太阳切勿直视。另外，通过望远镜看太阳，也无安全保证。烟熏玻璃和黑玻璃也不能防止来自太阳的高度集中的光热。惟一的安全措施是：把太阳图像经过一针孔或望远镜投射到白色屏幕上。

太阳内部图



太阳内部理论之一假设：太阳表面，或称之为光球，以下共有三层。太阳能量必须穿过这三层，才能释到空间中去。

太阳在宇宙中的地位

天文学家把太阳与地球间的平均距离149 597 870千米，称做天文单位，太阳半径约695 900千米，或为地球半径的109.3倍，而太阳的体积则约为地球的1 300 000倍。计算所得的太阳质量，或所含物质之量，约为地球质量的333 400倍。

每秒走299 727.738千米的光从太阳到地球，约要用8分19秒。光从别的太阳，即恒星，到地球的时间则更长。光

从另一最近的恒星——半人马座α星到地球要用4年多时间；从银河中心到地球，则要经过几千年。由于太阳靠我们这样近，所以看起来比别的恒星大得多。从地球上看其他的恒星只不过是一些亮点，有的甚至要用最高倍的望远镜来看。

恒星的大小和颜色有很大程度的差别。其大小范围从远比太阳要大的巨星到比太阳小得多的矮星。其颜色范围则从其表面温度甚高(高过30 000K)的淡蓝色星，到比较冷(低于3 500K)的红星。太阳是黄矮星，在银河系中是一种普通的恒星，其表面温度约5 800K。(开尔文温标中的单位度K，其大小与摄氏中的℃一样，只不过其零度是从绝对零度即-273.15℃算起的)。

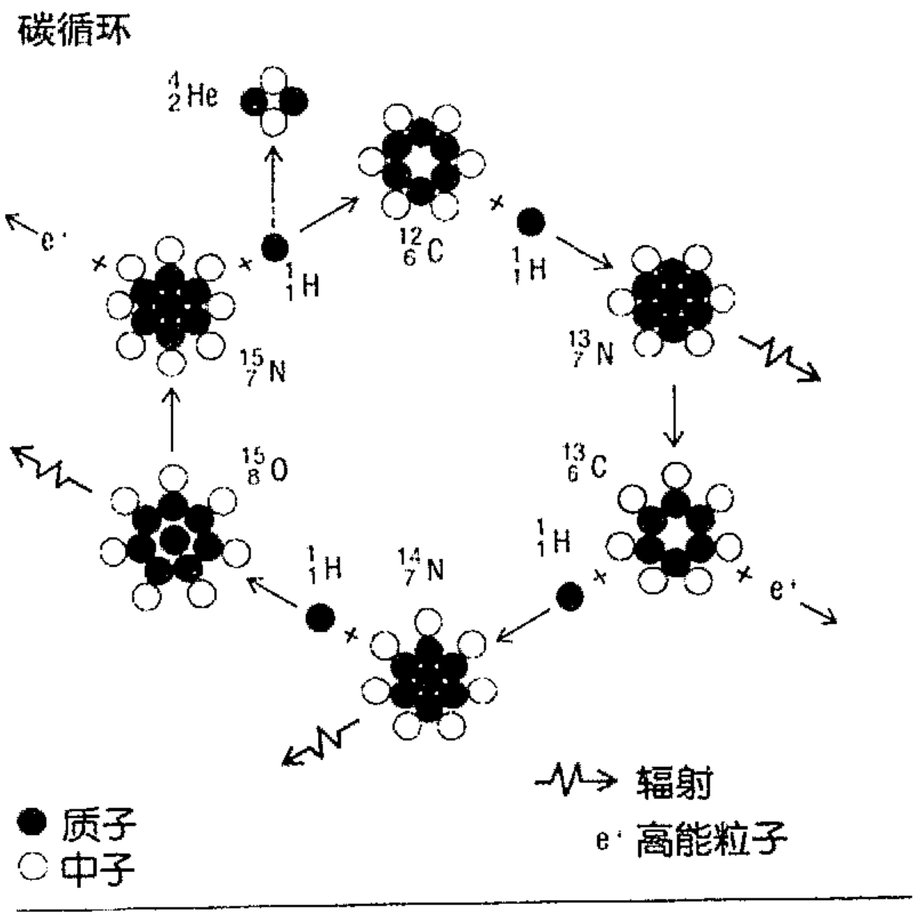
对太阳的研究

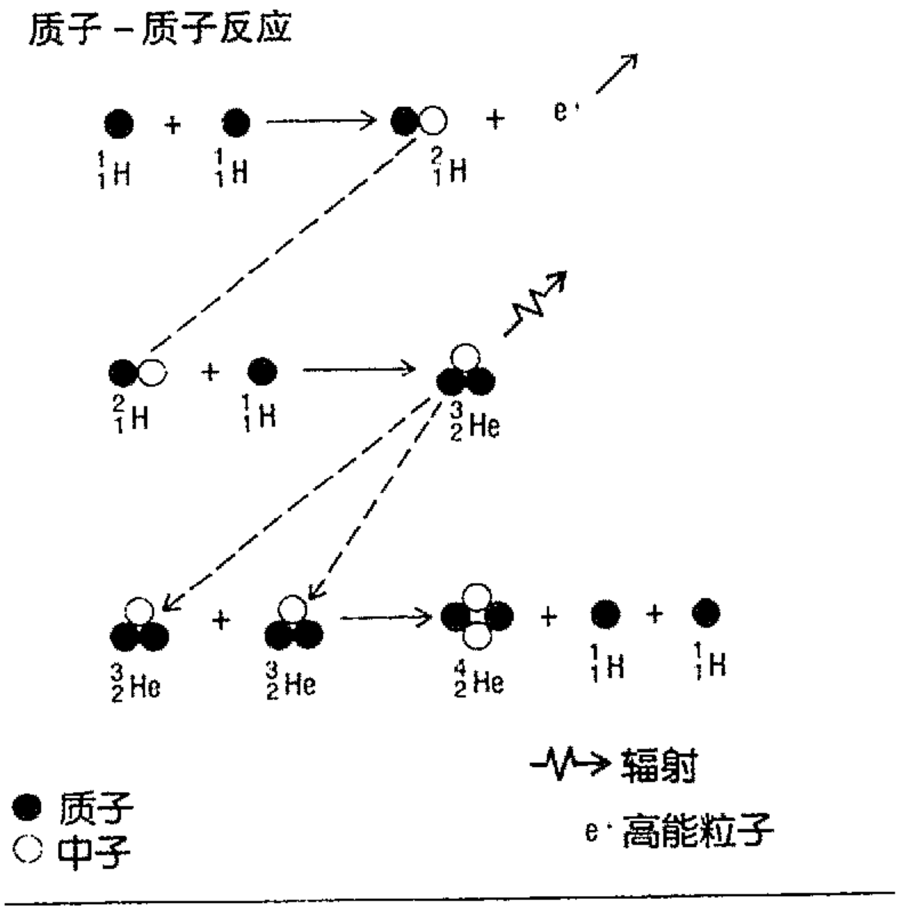
用望远镜研究太阳，始于1610年。利用望远镜，科学家得以对太阳外观加以描述，观看太阳上黑子的运动和测量太阳的自转。一种特殊直立的塔式望远镜的发明，是专为研究太阳用的。其长焦距能给出颇大的太阳像(直径大于76厘米)。日冕仪是另一种特殊的望远镜，它是用来考查太阳大气的。这种仪器挡住了由太阳盘直接来的光，这样就可以观看到太阳外层大气上的昏暗光——日冕。

看上去像是白色的太阳光线通过一棱镜或衍射光栅后，使扩展成一系列的颜色带，称为光谱。科学家对光谱做分析来确定太阳的化学成分及其丰度、位置和物理状态。

1814年，约瑟夫·冯·夫琅禾费开始对太阳光谱做了全面研究。他发现：太阳光谱中有许多暗线，现在称之为吸收线或夫琅禾费暗线。同时，其他科学家还对实验室中加热成气体的若干元素所发及吸收的光进行研究。他们发现：每种元素始终发射一组该元素特有的明线。在太阳光谱中，夫琅禾费称为D线的暗线，与在实验室中加热的钠发出的亮线在光谱中有相同的位置。(参见：**光谱和分光镜**)

现在科学家们都相信：太阳光谱中的暗线带，反映了太阳大气中存在的元素。这些线所以是暗的，因为太阳大气中的这些元素吸收掉了从太阳内层的同一元素所发的亮线。





太阳能量来自聚变反应，其中两个原子核相聚成一更大的原子核。碳循环和质子-质子反应是发生在太阳中最重要的两聚变过程。在碳循环中，4个氢核(H)与1个碳核(C)相撞形成1个氦核(He)。在质子-质子反应中，6个氢核相撞转变成了1个氦核和2个氢核。

将光谱线和发射与吸收它的诸元素相结合，就提供了一种对太阳表面成分进行研究的方法。几乎地球上所知的元素，在太阳上都有显示。太阳光谱的研究揭示了在太阳大气中：氢约占92%，氦约占8%，其中尚有碳、氮、氧、钠和一些其他的元素。

还可用太阳分色照相仪和双折射滤光器来对太阳大气进行研究。两种仪器都会将透过的光，限制在一段很小的波长范畴，像氢发射的红光或钙所发的紫光。

1942年发现：太阳辐射中除光和X射线的辐射外，还有射电波。射电波是太阳大气中的原子热运动所造成的。经用射电望远镜的研究证实：射电波是从比太阳可见大气更大的球上发出的。这就是太阳大气层要比可见大气层延伸到更远的证据。

任何地面望远镜的性能，由于地球大气对太阳辐射的大量吸收，都受到限制。随着空间科学的进展，地面火箭和人造卫星可以到地球大气层外去。它们装有能填补太阳光谱缺口的仪器。

太阳的剧烈活动的核心

太阳看上去像一火球。其实，其图像往往是边上有火

焰的圆盘。不过，和地球上燃烧之类的化学反应相比，太阳实在是太热了。并且，如果它的能量真是由燃烧产生的，则燃料在千百万年前就烧尽了。

曾有多种解释太阳输出巨能的理论。其中的一说是：太阳中各点物质间都互相受万有引力作用而使太阳愈来愈收紧成团。这过程叫做引力收缩，它确实在有些恒星中发生。而使之释出大量能量。然而，引力收缩产生的能量，最多只能维持 5 000 万年，而太阳的寿命至少是和 45 亿年的地球寿命一样长。

最后由原子理论做出了解释。现在的科学家们一致认为太阳的能量来自热核反应。爱因斯坦的理论计算表明：一小质量可转化为一巨大能量。太阳中的物质可充作几十亿年原子反应的燃料。太阳的核心被认为是超热，并高度密集了原子核和电子的质量。由计算得知其温度约 15 000 000K。在这样状况下，原子核会经相撞而聚变成更重的新原子核。这种热核反应叫做聚变反应。在这种反应中，原子核的质量部分转化为能量。其中最常发生的是碳循环和质子-质子反应这两个特殊过程。

太阳与宗教

在早期文明的民族中，把太阳视为神，它是一切生命之源。当人们看到全日食中阳光全被遮住时，便会胆战心惊。幸好，全日食最长不过短短几分钟，这才使他们放心以后会继续享受到阳光。

有些民族认为太阳神看上去和人差不多。古埃及人相信太阳是乘船横过天空的他们的太阳神。对古希腊人，太阳是他们的太阳神赫利俄斯所驾驭的战车。多少世纪以来，日本人就崇拜被视为太阳女神后代的天皇。秘鲁的古印加帝国的最高统治者，也被其臣民们认为是太阳(神)的子孙。

有些宗教习俗出自对太阳的敬畏。因此，就发展了一些仪式来求太阳不要毁灭人。阿兹特克人出于对太阳的敬畏而为之杀祭了众多的俘虏，他们认为不这样做太阳会停止不动。每年他们都挑选出一个美男子来代表太阳神。他们待他如待神一样，过后就杀祭了他，为的是求太阳每天接着在天上走。

许多美洲印第安人的部落也崇拜太阳。霍皮族印第安人在夏至、冬至和中夏时举行专门的敬日仪式。有些北美大平原的印第安部落跳太阳舞，有时一连跳上一个多星期。

光球和太阳黑子

太阳的表面叫做光球，它是太阳最低的可见层。光球的温度范围从其底面的 7 500K 到其顶处的 4 700K。其平均温度为 5 800K。光球有一定的结构。有许多为暗区所隔开的小亮米粒，看起来像网状或沟状。由光球层米粒组织的高纬照片表明：米粒群的直径有几百千米。它们在不断形成和消失。根据一个假说：米粒是光球中上升与下降的诸多气柱的顶端。

米粒成均匀分布，表明太阳表面存在一相对平静的状态。但这却受到周期性的剧烈干扰。一般而言，这些干扰以较黑的点(称为小黑点)的形式出现在光球较亮的背景上。这些小黑点的数目与大小在迅速增长，从而形成一个单一的太阳黑子，或一黑子群。

早期的一些观察者注意到太阳黑子像是在漂移。伽利略推断出漂移现象是由于太阳球的自转。观测得的自转周期，加上地球的运动在内，约为 27 天。实际的自转周期随太阳的纬度而变。在其赤道处为 25 天而在纬度 40°处为 27.4 天。这种时间延迟是由于太阳作为一种气体(而非固体)在自转。

典型的太阳黑子的中心为一暗圆，叫做本影，它为稍亮叫做半影的半暗区所包围。半影是从本影中心发出的光线形成的。黑子大小变化的范围很大，但总比太阳本身要小得多。当黑子成群出现时，它们可伸广到几千千米。本影之暗表示黑子的温度要比光球低。看来前者约比后者低 2 000K。再有，当这些黑子接近太阳边缘时，本影的温度也还显得比光球低。

太阳黑子的定期观察是从 1750 年开始，直到如今。这些观测显示出黑子的出现和消失是有一定周期的，它们又只限于在太阳南北两半球纬度 5°- 40°的两带区中。它们的周期平均为 11 年。在一个周期开始时，在 35°纬度上出现少量黑子。然后，数目急剧增加，经过 5 年而达最多。同时，它们缓慢地趋向太阳赤道。后来的 6 年中，在继续趋向赤道的同时，黑子数目减少。一个周期结束，同时立即开始了下一周期。

美国天文学家乔治·E.海尔观察到一些太阳黑子照片上显示出黑子的似乎顺着磁力线的结构。经常一对黑子似乎形成了磁场的南极和北极。由此海尔最后得以建立“黑子实为太阳磁场所在处”的假说。此外，从一个 11 年周期到下一个周期，太阳两半球上的黑子的极性完全反了过来，所以太阳黑子磁极的周期有 22 年之长。这就支持了“局部磁场与太阳黑子有一定程度联系”的学说。

色球

在光球之上的层称为色球，因为它带红色，可在日全食中看到。色球内层吸收了一些从光球来的光，而造成了太阳光谱中的吸收暗线。这种吸收之所以发生，是由于色球较下层要比光球冷。可是，色球的温度随其高度而上升，直到上边界而达 1 000 000K。

太阳的“天气”大部发生在色球处。在氢光或钙紫光下看色球，出现称做谱斑的亮区。这些谱斑通常位于太阳黑子之上或其附近，在近太阳黑子的光球上，可能是光斑的伸展。

更剧烈得多的现象就是耀斑，是出自谱斑区的色球的突然爆发。耀斑会发射出高能的辐射和带电粒子。通常，耀斑形成得很快，几分钟内便达到其最高亮度，随后便慢慢地消失了。极强的耀斑会发射 X 射线、射电波和一群带电粒子。这种巨量的能量喷射会对失去地球大气层蔽护的太空旅行者造成很大的危险。因为这些高能辐射会穿透飞行器的外壁而损坏人体细胞。

早期天文学家已注意到：在日食的暗盘周围出现巨大的红色光环和冕流。这些冕流称为日珥。后来，称为暗条的黑长线状区，被证实为它们靠近太阳边缘时的日珥。暗条或日珥散布于太阳表面。像大多数的太阳现象一样，我们尚未弄清它们。有几种日珥，宁静的日珥可维持其形状达数月之久，而在活动区与黑子相结的日珥则短命。长的

日珥可伸长到几万千米，其宽度常达几千千米。它们像是由不断从日冕落到色球中的发光物质所形成，有点像地球天空中凝结成的雨，而日珥本身则会上升，有时爆炸的上升速度达每秒数千千米。

日冕

色球为日冕所包围，后者为一发微光的大气外层。由于这层大气的亮度只有太阳盘的几千分之一，通常它是看不见的。在日冕仪发明之前，它只有在全部太阳为月亮遮住时才能看到。当太阳光球被挡住后，日冕就会出现，样子如一带有长弧和冕流的银晕，长弧一般见于扰动区的上方，特别在有日珥处。当黑子数最少时，日冕沿赤道有长冕流而在两极外光线较短。其状如一磁性球周围的磁力线。当黑子数最多时，带形就会变。这时日冕几成圆形，而冕流则沿盘边均匀分布。

过去的相当长的一时间内，日冕光谱中的许多发射线无法与地球上的元素相对应。这些线被认为是由一种地球没有的元素氪所发。进一步的原子研究证明：这些线可由极稀薄的铁、镍和钙蒸气，在极高的温度下发射。

现在已知日冕是由等离子态物质所组成，后者是一种高热的浓雾状的带电粒子群(见：**等离子体和等离子体物理学**)。日冕的温度约为 2 000 000K，但不够密集到产生许多热。在日冕中穿行的流星不会像在比日冕冷密的地球大气中那样地被烧掉。一般认为：日冕由太阳光球和色球中的米粒与针状体的运动而受热。这部分能量由下层和日冕中原子的直接碰撞而传递、或者以冲击波形式向外通过色球传至日冕。

到达地球的太阳能

地球上绝大部分能量来自太阳。其中只有两个例外，但无关紧要，即来自遥远恒星的微弱能量和来自地壳内像镭、铀之类放射性元素的能量。

阳光照到地面上，使大地、海洋和空气受热不匀而引起了气象上的湍流。其中有部分能量转变成风，可为风车所直接利用。太阳的热使海水蒸发。风把水汽或云吹到大陆上的冷区而沉降成雨雪。到地之水就可汇成江河与溪流，用做水力发电。

千百万年来，若非被当做自然动力工厂的植物群，不断通过光合作用捕获太阳能，则太阳能对人类就无关紧要了。在光合作用中，日光为一种化学反应提供了能量，这反应形成了葡萄糖这一含高能量的化合物。这过程几乎是所有生命机体的食物能之来源。动物和菌类不能进行光合作用，因此它们必须吃植物或以植物为生的生物，来取得能量。

沼泽中植物死后，被水或泥淹没了千百万年。它们的化学能仍密封在其组织中，而经长时期的高压把这些植物遗体变成了煤和石油——矿物燃料。

太阳风

在星际空间中的太空飞行器，会遭遇到来自太阳的一连串的高能带电粒子。这种粒子流便叫做太阳风，它沿太阳的径向经过太阳系，至少能达到海王星轨道处。虽然日冕不断地向外发射这些粒子，但它们随着耀斑爆发数目大增。粒子行速约从每秒 350 千米到 700 千米。

太阳风也是一种等离子体。其中主要含质子与电子的混合体，加上少数一些较质子重的元素的核。形成太阳风的粒子是由日冕膨胀和蒸发而造成的。经此过程，每秒钟约有百万吨的气体从太阳向外流。这些粒子受日冕的高温，其速度高到足以逃逸出太阳的引力场。离去时，它们带着部分的太阳磁场一起走。由于太阳本身的自转及不断有粒子外流，所以太阳风带着的磁力线在空间弯成曲线。太阳风使接近太阳的彗星的彗尾，向背离太阳的方向延伸。太阳风遇到地球磁场时便会产生冲击波，其性质尚未充分理解。在地球附近，太阳风会产生磁暴，产生极光和干扰无线电通讯。

撰文：Giorgio Abetti

行星 PLANETS

在环绕太阳的轨道上运动的较大天体叫做行星。推测中的环绕其他恒星运动的较大天体同样叫行星。行星这个名词不包括诸如彗星、流星和小行星(其中许多几乎同冰块或石块一样大)之类的较小天体。(参见：**彗星；流星和陨石；小行星**)

太阳、九大行星、它们的卫星以及环绕太阳运行的各种较小天体、粒子和尘埃构成太阳系。太阳，接近太阳系的中心，以万有引力控制行星的轨道运行，并给行星以光和热。按照离太阳平均距离增大的次序，太阳系九大行星为水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星和冥王星。(参见：**万有引力；太阳系；太阳**)

水星、金星、火星、木星和土星不用望远镜就可以看到。古希腊称它们为行星或“流浪者”，因为这些天体看起来是在固定的恒星背景上穿行。天王星虽然不用望远镜有时也能看到，但古代天文学家还不能把它与恒星区别开来。

行星可以按不同方式分组。按一种方案，水星和金星绕太阳运行的轨道的直径比地球绕太阳的轨道的直径小，称为地内行星。所谓地外行星则指那些绕太阳运行轨道直径大于地球轨道的行星。

行星也可以按其总的物理性质分为两组。类地行星接近太阳，主要由岩石和金属构成。它们包括水星、金星、地球和火星。类地行星也被称为内行星。

类木行星与类地行星比起来很大，离太阳远得多。它们也被称为外行星。它们包括木星、土星、天王星和海王星。这些行星主要由气态和液态的氢和氦构成。冥王星，这个最远的行星，通常既不被看做类地行星，也不被看做类木行星。它由冰和岩石构成，并且比其他行星小得多。

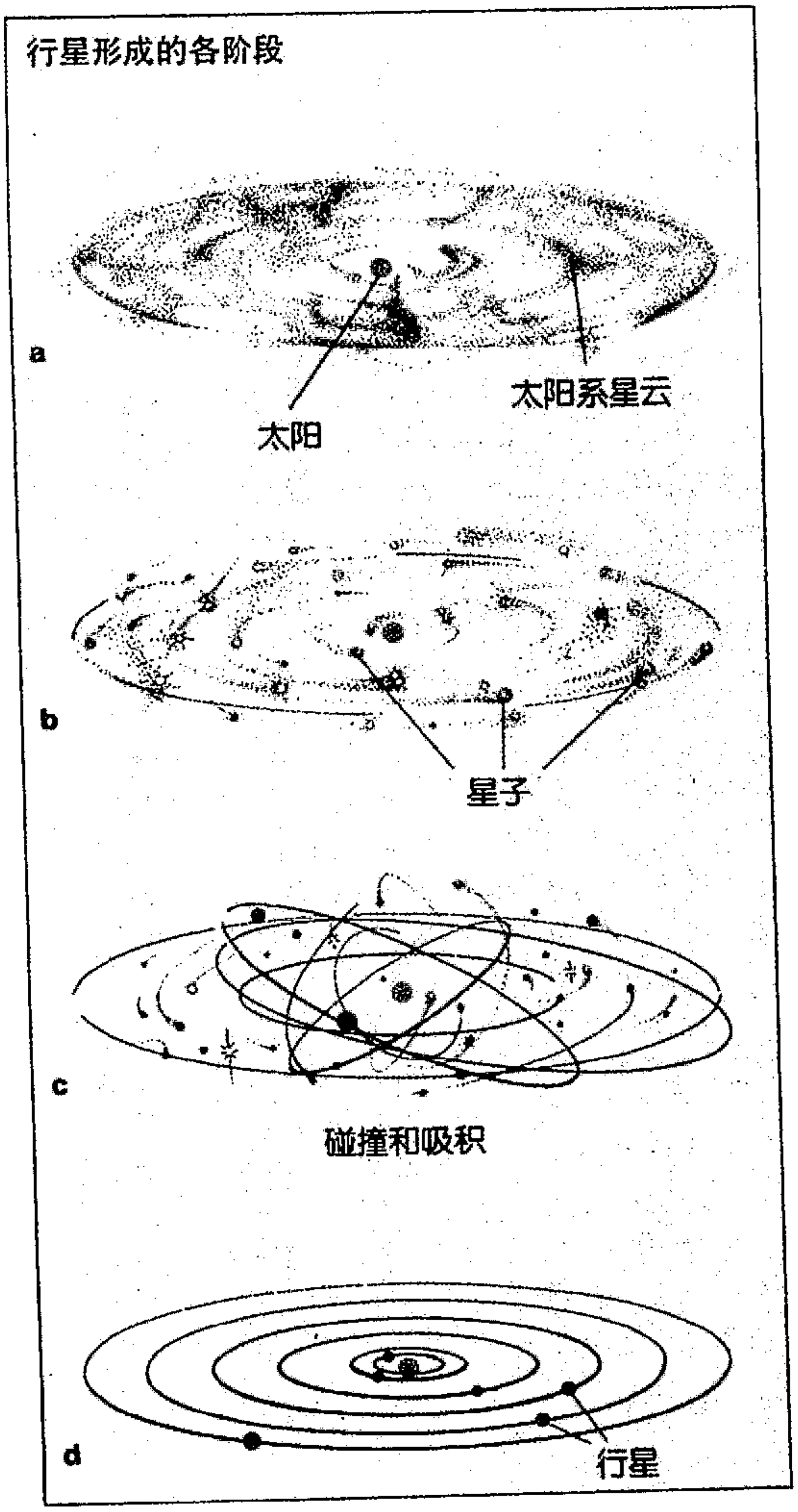
形成和演化

太阳系的起源虽然还不能断定，但大多数科学家都相信，它是大约 45 亿年前由一个巨大的气体和尘埃云团发展而来的。这个云团开始凝聚。由于云团内部物质被压缩，它逐渐变热。这团物质的绝大部分被拉向云团中心，最终形成太阳。剩余的不到原云团 1% 的物质形成围绕中心旋转的盘，称为太阳系星云。行星和卫星就是当这个星云冷却时由它演化而来的。(参见：**太阳系**，“**太阳系的过去和未来**”)

转盘中靠近中心的物质凝结成小的石质和金属微粒，

并碰撞和聚合在一起，逐渐变成较大的叫做星子的天体。在它们绕中心运行的过程中，最大的星子扫过并俘获它们经过处的较小的天体，这个过程即所谓吸积。最终这些吸积体演化成类地行星。在某些行星最古老的表面上仍然很明显的大量环形山，被确信是在这个阶段刚刚形成的行星受其他天体撞击时产生的。

在离盘的中心较远的地方，较低的温度不仅容许岩石金属形成，也容许冰和气体形成。这些物质在转盘内形成小涡旋，发展成类木行星。每个年轻的行星都有它自己的比较冷的星云，从中形成它的卫星。



行星由太阳系星云形成，后者是围绕太阳之类的恒星旋转的盘状物质(a)，当旋转物质碰撞并聚合在一起时形成星子(b)。在碰撞和吸积阶段小天体碰撞并聚合成星子，有时改变它们的轨道(c)，最后，初生的行星和它们的轨道稳定下来(d)。

当行星和卫星增大时，它们的内部逐渐变热以至熔融。在一个通称为分化作用的过程中，较重的物质向中心下沉，在这个过程中产生更多的热，逐渐形成核。就类地行星而言，围绕富含金属的核形成石质地幔并覆以薄层地壳。较轻的元素从内部逸出形成大气层，在地球上还形成海洋。

除由吸积和分化产生的热之外，行星和卫星还有第三个内热源：星体内部某些放射性元素的衰变(见：**放射性**)。自星体形成后，行星的许多物理性质就被星体产生和失去其内热的方式所确定了。例如，内部热量的释放解释了这些火山和地壳运动的活动性，这些活动造成了类地行星的地壳形态。

这些天体具有保存着它们地质学历史记录的固体表面。诸如月球、水星、火星及外行星的卫星之类的较小的天体，内部热量逸出表面比较快，因此，表面最初经历迅速、猛烈的变化，随后，当天体的内热大部分消散以后，表面特征形成，并在这个天体存在的长时期里大部分保持不被破坏。较大的天体，像地球和金星，热量失去得比较慢。事实上，它们仍然常常受到火山和地壳构造活动的作用力。缺少大气的类地天体的地形主要是由这些火山和地壳构造活动加上太阳系形成期间发生的被撞击造成的环形山共同形成的。对于那些有大气的类地天体，这些作用同样存在。不过，它们的地形已经被风，有时还给水所修饰了。

类木行星的演化无法通过分析其表面特征来描述——因为它们没有固体表面。这些行星是那样大，以至它们的内热至今仍然在释放着。

水星

水星是离太阳最近的行星，从地球上难以观测它，因为它升起和落下与太阳相差在两小时之内。因此，在“水手”10号航天器于1974年和1975年几次飞越水星之前，人们对这颗行星几乎没有什么了解。

水星的表面有几种不同类型的地带。行星学家可以根据表面撞击的环形山的数量估算表面的年龄。一般说来，越古老的表面，带有的环形山越多。水星上的一些区域有大量环形山，据推测，这些地方可能是约40亿年前形成的非常古老的表面。在这些区域之间，有一些平坦的平原，可能是被火山熔岩流弄平的，或者是被撞击溅出的细碎物质沉积填平的。能填平大量撞击环形山，这些平原也是够古老的。在这颗行星上的其他地方，是平坦的、极少环形山的平原。这些平原或许比较年轻，并且是由火山作用形成的。在形成环形山际平原与形成平坦平原之间的某个时候，整个行星可能由于冷却而收缩了，促使地壳塌陷，形成长长的称为悬崖的峭壁。

水星上最大的撞击盆地，卡路里盆地，直径约为1 300千米，由高约2 000米的山脉环绕着。它很可能是在水星形成期间由一个巨大星子的撞击造成的。在水星上与卡路里盆地相对的一侧，是一片高起的带有线理的区域。它很可能就是同一次撞击产生的地震波所造成的后果。

像太阳系中其他无空气的、固体的天体一样，水星的整个表面都覆盖着一层碎石，称为风化层。风化层由从尘埃到巨砾的一系列碎石构成，是在撞击环形山形成时抛撒开的。这些碎石又在下一次撞击中再次被破碎并抛撒开。

水星密度很大并有一个磁场，强度约为地球磁物强度的1%。这使人想到它有一个铁、镍组成的占这个行星体积40%的核。表面重力约为地球的$\frac{1}{3}$。围绕水星有一层稀薄的氢、氦、钾和硫组成的大气。1991年所做的水星雷达图像显示了使人认为这个行星北极有大片冰存在的迹象。

水星每绕太阳公转2周就绕自转轴转3周。轨道椭圆形，偏心率比其他行星轨道都大。这两个特性的联合作用产生的结果以地球的标准看是奇特的。在远日点，水星轨道上离太阳最远的那一点，水星上的观察者将会看到的太阳好像比地球上看到的太阳的2倍大些。在近日点，这时水星离太阳最近，看到的太阳将差不多有从地球上看到的4倍大。此外，太阳看起来好像并不是平稳地越过天空。相反，它的视速度将是变的，取决于水星上观察者的位置，取决于水星与太阳的距离——有时太阳看起来甚至会倒退。

水星上温度范围很宽。行星学家们常常用开尔文温标来讨论温度。开尔文温标是一种绝对温标，其中0K是可以设想的最低温度，它相当于-273.15℃。水星表面温度范围是从"中午"的约675K到"黎明前"的100K(使人舒适的温度在295K左右)。

水星绕自转轴完整地转1周差不多要59个地球日。而一次日出到下一次日出的时间要176个地球日。所以如此，原因在于，水星自转一次要走过绕太阳的轨道的整整$\frac{2}{3}$，使得太阳处在水星天空的不同位置。经过3转，或2个水星年，太阳重新出现在这个行星天空的同样位置。

金星

除了月亮，金星是夜晚天空最明亮的非人工物体。它是离地球最近的行星，也是大小、质量和密度最近似于地球的行星。这些近似暗示着这两颗行星有近似的历史。因此，金星和地球为什么现在如此不同的问题引起了科学家的兴趣。

金星在逆行中每243天旋转一周。所谓逆行是指自转方向与其他大多数行星的自转方向相反——从地球北极上方观察时是顺时针方向。金星和地球在轨道上运行时，金星总是以同一侧面向着地球。虽然金星离地球很近，但这颗行星却难以观察，因为它的表面完全被厚厚的一层浓云遮盖着。20世纪70年代和80年代，美国国家航空和航天局的"先驱者"号金星探测器和苏联的"金星"15号、16号探测器都能够获取关于金星云层和表面状态的资料。

金星的大气主要由二氧化碳组成。上层云中带有硫酸液滴。上层大气运动很快，4天就绕这个行星一周。靠近表面的风却是和缓的。表面温度接近750K，这比水星"中午"的温度还要热。

金星大气中的大量二氧化碳是这个行星表面附近温度极高的原因。太阳光穿过大气，被行星表面吸收，再以热的形式辐射出来。可是，大气中的大量二氧化碳吸收并留住这些热辐射，阻止它释放回太空。作为这种被称为"温室效应"的现象的结果，金星表面热得足以使铅熔化，石头甚至会因它们自身的热而发出暗红色的光。

因为云层只容许约15%的太阳光到达这颗行星的表面，所以金星的白天是昏暗的。由于浓密大气的折射和弯曲光线的作用，部分光线会绕到行星的黑夜一侧，因而夜晚不会是完全黑暗的。

在许多地方，由于行星内部位于核上面的部分——地幔的对流产生的应力造成表面的严重断裂和褶皱。因此，金星可能形成过板块构造，虽然很高的表面温度或许会使它的板块类型与地球的完全不同。金星最高的山，麦克斯韦山，高约12 000米。它可能是一座火山。雷达图像表明，金星上的高原比其他类地行星的高原表面要崎岖。

1990年年中，"麦哲伦"号航天器到达金星附近，进入使它每3个小时绕金星1周的轨道，同时测绘了空前详细的被云层遮掩着的金星表面的地图。金星表面留有巨大的流星环形山的凹坑。"麦哲伦"号还发现了表明金星上可能存在活火山的证据，并且金星表面的年龄可能只有4亿年。金星上面可能存在活火山的另一份证据来自"伽利略"号航天器。"伽利略"号掠过金星是在1990年初，它还发现了闪电的脉冲性电磁活动特征的证据。航天科学家认为这些活动源于火山。

地月系统

月球的质量只有地球质量的1.2%左右，但在太阳系的所有卫星-行星组合中，除开冥王星和它的卫星冥卫一之外，这个百分比是最大的。虽然在许多方面地球是典型的类地行星，但它在太阳系中处于一个特殊的地位，因为就我们所知，它是惟一已知的承载着生命的行星。地球的海洋也可能是独一无二的，因为水只能在一个狭小的温度和压强范围内作为液体存在，而这些特殊的条件据了解其他任何行星都不具备。

地球的庞大体积和放射性铀、钍及钾的丰富含量使这个行星保持了它的内热。它的地质历史是活跃、骚动的，它的表面不断变化。(见:地球)

月球可能最初是由地球与一个火星般大小的星子碰撞而飞散出来的物质形成的。飞散的物质可能落入了环绕地球的轨道，逐渐积聚形成月球。也还有另外一些关于月球形成的理论模型，但许多行星学家都认为这个理论像是符合真实的理论。

月球上严重地呈坑状的地区叫做"台地"，大约形成于45亿年前。月球台地地壳或多或少地保持着原貌，除非其他天体再次撞击它。月球上比较暗的地区叫做"海"，人们认为它是熔岩流形成的。岁月流逝，熔岩的重量在周围的台地和褶皱上形成裂缝，叫做地堑或在海内插入断层。从那时以来，月球内部就不再活动了。(参见:月球)

火星

从古时候起，火星就是天文学家非常感兴趣的天体。与金星不同，火星通常没有云层遮掩，加上它在轨道上运行离地球比较近，因此，它是使用望远镜进行观测的一个近乎理想的目标。在几个世纪里，观测者注意到这个行星表面的种种不寻常的现象，包括极冠的季节性增大缩小，同时好像有一个变暗的浪潮在每个半球的春天从极地卷向赤道。这些观测资料的大部分直等到20世纪60年代和70年代

美国和苏联进行空间探测活动才得到解释。

火星的体积约为地球的一半。它的大气主要由二氧化碳组成，并且很稀薄，产生的压强约为地球大气在地表产生压强的1%。这个行星表面的温度在它的一天之中变化范围很大，从黎明之前的约190K到午后的约240K。这个行星的中心很可能是一个小的铁或硫化铁核。如果火星有磁场，它也很弱，以至还没有仪器能把它检测出来。

火星像地球一样，它的自转轴是倾斜的。因而这个行星在轨道上绕太阳运行期间，先是一个半球，随后是另一个半球得到较多的阳光，从而导致气候的季节变化。因为低温和低压，液态水不能在火星表面存在。水只能作为冰保存在两极，或许也能封闭在地表之下，或者作为蒸汽处于大气之中。不过，有迹象表明，以前的温度可能比较温暖，大气压强也较高。从"海盗"号航天器发回的一些图像显示了像是干涸的河床和峡谷的表面特征。它们可能是降水和径流造成的，但也可能是由逸出地面的地下水造成的。

虽然火星现在是沉寂的，但它也经历过一个在几十亿年前达到高峰的火山活动时期。这个行星有太阳系中最大的火山，奥林匹斯火山。这个火山高达27 000米，比地球上的珠穆朗玛峰的3倍还高。覆盖的面积有亚利桑那州那么大。它坐落在塔尔西斯高原上。高原广阔、高亢、平坦，上面散布着巨大的火山和裂缝。最大的裂缝系是水手谷，一个庞大的峡谷，长约4 000千米，深度变化在4千米至10千米之间。塔尔西斯高原可能是由热地幔物质的地柱升起造成的，但是并没有任何板块构造活动伴随这个过程——火星表面是由一个单独的板块构成的。火星上的其他地区包括平坦的平原，密布撞击坑的区域，平顶山以及由断裂、火山活动、大气侵蚀和沉积作用等各种因素混合形成的起伏的丘陵。

一般说来，以往每个火星年，在南半球春季开始时，火星被全球的尘暴所笼罩。局部的温度差产生强风，从地面卷起尘土，形成浓云。浓云遮挡了太阳光，逐渐使地面温度均衡起来，并使风平息。部分大气尘埃被沉积在冬季半球的尘埃雪和冰中。雪形成一个二氧化碳冰、水冰和尘土的冰帽。春天里，冰帽的大部分蒸发了，但有一部分作为永久沉积保留下来。结果，这些尘暴的地质记录及其在这颗行星整个寿命期间的变化必然被保存在火星两极的永久性尘埃和冰层中。

这种通称为暗波的现象伴随着极冠的季节性缩小。接近任一个极冠的边缘处，表面普遍变暗显示在早春极冠开始退缩。随后变暗区从这个极冠移开，扫过赤道，最终消失在相对的半球。虽然这种波被从地球上所做的观测充分证明，但从航天器上仔细察看它们的企图却失败了。没有观测到任何能与这种现象相联系的表面变化，因而人们一般都同意，这种波是某种大气作用。

有几个世纪之久，天文学家认为火星上可能存在生命。由于望远镜效能增强，这个争论加剧了。1877年意大利天文学家乔凡尼·斯基亚帕雷利描述说这个行星上有一系列相互联系的水道。美国天文学有珀西瓦尔·洛韦尔解释说斯基亚帕雷利所用的词 canali 意思是运河，他还推测，它们是一个先进但却行将结束的火星文明建造的。然而，大多数天文学家看得出没有什么运河，因而怀疑其真实性。这场争论直到1969年美国火星探测器发回图片才最终解决。图片显示出许多环形山，但没有任何类似于水道或运河的东西。

有些科学家猜想，在火星上有可能存在某种类型的微生物，因为这个行星上有水存在，并且过去的温度可能是温暖的。美国的"海盗"号探测器系列由两个轨道飞行器和两个着陆舱组成，部分地用于搜寻火星上过去和现在生命存在的证据。两个着陆舱1976年在这个行星上降落，进行了许多试验，包括详细的火星大气和土壤的化学分析。但任何有机物的痕迹也没有发现。随后的美国探测器"火星观察者"1992年发射，它装备了研究火星表面成分、火山活动和大气的仪器。

火星有两个小卫星，火卫一和火卫二。它们可能是被俘获的小行星。两个卫星都很小，以至没有足够的内部重力以形成球体外形，而是有些像两个马铃薯，火卫一长约27千米，火卫二长约15千米。两个卫星都有与其轨道周期相等的自转周期，因而它们总是以同一面朝向火星。火卫二有些平缓的环形山，它们差不多都掩埋在其他天体反复撞击产生的浮土中。火卫一也覆有浮土，但它要崎岖很多，并受过很重的撞击。火卫一上最大的环形山斯蒂尼环形山直径约10千米。

火卫一离火星非常近。而且它的轨道正在逐渐收缩，使得它随着每一圈轨道的运行而更接近这颗行星。天文学家估计，火卫一可能会在1亿年后的某个时候坠落到火星表面上。火卫二处在较远的轨道上，并且逐渐远离这颗行星。

这两个卫星都是很暗的，可能是由含碳的球粒陨石材料构成的。这是一种原始的物质，包含许多太阳系形成期间从太阳星云凝结的最初的物质，它在许多卫星、小行星和陨星上都被发现。

木星系

木星的质量比所有其他行星的总和还要大。它释放的能量接近于它从太阳获得的能量的两倍——这些能量是这个行星在吸积期间得到的热量与它逐渐收缩时产生的热量。木星还有所有行星中最强的磁场。这个场伸展到这颗行星半径10倍的范围，它也是强烈的射电噪声爆发的来源。

木星主要由氢和氦组成。它没有固体表面，只有气体云雾层。木星中心可能是一个质量大于地球质量10倍的石质核。这个核的温度可能超过25 000K。核的周围是液态的氢氦混合物，它们在行星较外层的强压之下被压缩而呈金属态。

1989年10日，"伽利略"号航天器被发射入轨，进行其奔向木星的6年航程。设置了一个探测器，1995年释放入木星大气中以在两年期间拍摄木星局部的照片。

通过望远镜进行观测时，木星的最高云层表现为环绕行星的暗带纹和亮带，颜色排列从黄褐色到褐色和灰色。这些颜色最大可能是氨-硫化合物造成的。这个行星最显著的特征是有名的木星大红斑。它是一个庞大的旋涡风暴，有并列的两个地球那么大，它已被人们从地球上观察了300年以上。

木星绕轴快速旋转。转一周不到10个小时。由于这种快速旋转产生的离心力，木星赤道的直径比两极之间的直径要大，使得这颗行星呈有些扁平的球形。

木星和它的16个已知的卫星很可能构成了一个微型的太

阳系——一个巨大的旋转的气态球由行星云环绕，最终发展成行星及其卫星。木星有一个窄狭的行星环系统，它是1979年由"旅行者"1号航天器发现的，它由细小的石块和尘粒构成。

木星的4个最大的卫星是第一批通过使用望远镜发现的太阳系中的天体。它们是1610年由伽利略最先观测到的，并因此而被通称为伽利略卫星。按照与木星距离增加的次序，它们是木卫一、木卫二、木卫三和木卫四。木卫一由岩石构成，由于表面有大量硫磺而呈鲜艳的橘黄色。在椭圆形轨道上，木卫一不断被压进压出，像一个由木星的强大万有引力和其他伽利略卫星较弱的拉力作用下的手风琴。这种作用称为潮汐折曲。在这个卫星内部产生摩擦和热。结果，木卫一火山活动异常活跃——至少有10座正在喷发的火山被"旅行者"1号和2号记录下来。

木卫二主要由岩石构成，带有平滑的近期形成的覆有暗条纹和山脊图样的水冰外壳。像木卫一一样，木卫二被潮汐摩擦从内部加热，并不断更新其表面。热使水冰融化并升到外壳的表面，在这个卫星的一些地区形成新的冰"熔岩流"。

与此形成对照，木卫三和木卫星四则是冷的、地质上不活跃的卫星。它们都比水星稍大一点。这两个卫星都有岩石的核，核占其体积的大约一半，外部的一半是冰。木卫三覆盖着亮斑和暗斑。暗区是古老的严重呈坑状的表面。亮区是相对年轻的表面，并且包含带有明亮的显露水冰的辐射条纹的环形山。木卫三在几十亿年前内部活动活跃，形成了许多宽阔的表面裂缝，中间充满冰和后来变成冰的水。这些冰再裂成今天我们观测到的这种复杂的样子。木卫四的表面完全是暗的，很密集地布满坑。过去几十亿年间在它的表面几乎没有发生过地质活动。

1992年，"尤利西斯"号航天器曾从木星旁边飞过以研究它的磁场、等离子体、尘埃和X射线。它发现，这个行星的磁场有一个扩展到行星中部的精确如时钟的脉冲。它还观测到，木卫一的火山活动比以往猜想的要少。

土星系

像木星一样，土星也是一个巨大的主要由氢和氦组成的气体行星。它辐射的热也超过从太阳获得热量的两倍。这份超额的热量部分来自原始热量，部分来自较重的原素氦穿过氢逐渐地沉向行星中心时产生的摩擦热。土星磁场的强度有地球磁场的1 000倍，但没有木星那么强。土星的密度如此之低，以至它可以俘在水中。它可能有一个与木星一样的核。它覆有云带，有些也像木星的那样成旋涡形，但因为云层之上大气蒙蒙，而使得云带颜色显得比木星柔和。土星被一个引人注目的光环系统所环绕。1610年伽利略观测到这些环，但他并没有认出它们是环——他以为土星是一个三重行星。1655年，荷兰天文学家克里斯琴·惠更斯利用较高倍数的望远镜才得以看出是一个扁平的、明显是固体的环环绕着土星。后来天文学家又辨认出是一些彼此分离的环。

"旅行者"1号和2号的摄像机揭示出，在土星大气之外，从7 000千米到74 000千米的范围里竟有几万个环。它们由小到尘埃微粒、大到房子一般的一系列冰块和被冰裹着的粒子组成。环成组分布，由外向内分为A环、B环等等。A环和B环之间的缝隙叫做卡西尼缝。"旅行者"的摄像机观察到B环中偶有径向暗条。这些暗条开始是细线，随后扩展成楔形，因为内环运动比较快，会超过外环。暗条要不了几个小时就会消失。天文学家认为，这些暗条可能是被静电力在环上稍稍溅起的细微粒子组成的。

至少有20个卫星环绕土星作轨道运行。其中最大的是土卫六，它的体积在水星和火星之间。土卫六一半是岩石一半是冰，有氮和甲烷组成的大气，压强约为地球表面大气压强的1.5倍。它的表面很冷，烟雾蒙蒙。它可能被液态甲烷的海洋覆盖着。另外6个主要的卫星是土卫一、土卫二、土卫三、土卫四、土卫五和土卫八。它们大多数有冰封的呈坑状的表面。土卫二则有一个平滑、明亮，显然是纯冰的表面。土卫八有一大片像沥青一样黑的东西，几乎覆盖了它朝前的半球(卫星朝着轨道运动方向的那一侧)。

土星的其余卫星都很小，多冰，形状不规则。有些被称为牧羊人卫星，因为它们的轨道处在光环的边缘，好像会帮助光环物质保持其位置似的。土星的F环有两个牧羊人卫星，它们的万有引力可能是使光环出现交叉或弯曲现象的原因。最小的两个卫星有几乎相同的轨道，但它们的运动速度不完全相同。当较快的那个赶上较慢的那个时，它们并不碰撞，而是彼此以万有引力吸引并交换位置。

天王星

天王星是另一个巨大的气体行星。它的密度比木星和土星大。组成它的有氢、氦、大量水，或许还有一些甲烷、氨、岩石和金属。在它上层大气中的甲烷的踪迹使它带有蓝绿色。上层大气的温度只有约60K，但随着大气深度的增加温度会提高。在浓云下面，可能有无边的水的海洋。虽然它热到几千K，但因为有来自上面的大气的巨大压力，所以并不沸腾汽化。这颗行星的核多半像是岩石和金属。

天王星的自转轴与垂直于黄道面的假想线的交角大到不寻常的98°(黄道面是通过扩展地球环绕太阳的轨道形成广阔平面而构想出的理论平面)。因此这个行星是侧躺着的，它的北极指向黄道面之下一点。在天王星环绕太阳的84年的轨道行程中，它朝向太阳的先是一个极，然后是赤道，再后是另一个极。人们猜想，可能是天王星与另一个天体(或许是一个大彗星)之间的灾难性碰撞使它倒向了一侧。天王星的自转是逆行的，或者说是顺时针转动，每17小时转一周。这颗行星有个强磁场，磁北极与其自转北极异乎寻常地倾斜达60°。

天王星已知有15个卫星，它们主要由冰构成，严重地呈坑状。5个主要的卫星是天卫五、天卫一、天卫二、天卫三和天卫四。天卫四的表面很古老，严重地呈坑状。这表明，这个天体在它存在的大部分时间里在地质上是不活动的。天卫三表面只有小环形山，这提供了早期地质活动的证据。天卫一和天卫二分别是最亮和最暗的卫星。天卫一有个年轻的表面，带有一些小环形山、许多断层和一些明显的冰流。天卫二整个都很暗，严重地呈坑状。表面的昏暗使人猜测它比较年轻，但大量的环形山又表明它的表面是古老的。

天卫五是天王星的主要卫星中最小的，也是最靠里的。它的一部分表面是年轻的被山脉和悬崖覆盖的地带，还有

形状奇特的带尖角的地段。另一部分是类似木星的木卫三多沟壑的地带。第三种地带则有很古老的表面，有许多环形山。如此广泛和多样的地质活动对于一个这样小的、寒冷的卫星是极不寻常的。天卫五可能曾被一颗彗星或另一个卫星碰撞而破裂，也许破裂不止一次，每次又重新增大，终于形成如今人们观测到的这种奇特混杂的地形。

天王星有一狭窄的边缘清晰的环系统，由一些特别暗的物质构成，一点也不像土星明亮的、由冰构成的环。它们不一样厚；在某些位置，一些环薄得消失了。有可能，天王星的环与土星的环相比还较年轻，正在形成中。"旅行者"2号记录下了靠近这些环的轨道的两个牧羊人卫星。也许还有更多这样的卫星，但它们太小太暗，无法看到。有些天文学家猜测，这些环和小卫星的暗物质，也许还有天卫二的暗覆盖物，可能都是碳质球粒陨石物质。

海王星

在"旅行者"2号1989年邂逅海王星之前，人们对1846年发现的这颗行星几乎没有什么了解。它的质量与天王星相近，成分也相似。它的浓密的氢、氦和一些甲烷的大气使它带有蓝色。

像其他气体行星一样，海王星自转很快，每16.1小时转一周。赤道的直径比过两极的直径稍大一点。"旅行者"2号发现海王星大气温度约为60K，比人们对离太阳那样远的天体所料想的要高。它的高温暗示，海王星有另一个，可能是内部的热源。这颗行星可能有一个岩石核，核被水冰和液态甲烷包围着，再外面又被氢和氦气包围。

海王星有8个已知的卫星。最大的卫星海卫一，绕海王星转动的方向与太阳系中大多数其他卫星的转动方向相反。海卫二，第二大卫星，按正常方向转动，但轨道偏心率很大。

冥王星和冥卫一

冥王星是1930年发现的，它的卫星冥卫一则发现于1978年。冥王星是一颗极小的、低密度的行星，由97%的氮和少量冰冻一氧化碳及甲烷构成。在1992年发现这种构成之前，冥王星被认为是由冰和岩石构成的。这颗行星的直径估计约2 300千米。冥卫一直径约1 200千米。冥王星和冥卫一的质量总共约为地球质量的$\frac{1}{450}$。在冥王星上可以观测到亮度的固定变化。这表明它的表面是不规则的。天文学家利用这种变化的帮助确定了这颗行星的自转周期：地球时间的6天9小时17分。

冥王星轨道的偏心率比其他行星轨道的偏心率都大得多，并且从黄道面倾斜17°。当冥王星在近日点时，它离太阳比海王星还要近。冥王星的偏心轨道和它与多冰卫星的物理相似性最初使一些天文学家认为冥王星与其他行星起源不同。有一种学说提出，冥王星和冥卫一可能曾经是海王星的卫星，但被从海王星的重力场中拉了出来。不过，现在大多数科学家已不再相信这个模型的实际可能性。

行星数据比较

	水星	金星	地球	火星	木星	土星	天王星	海王星	冥王星
与太阳的平均距离（百万千米）	57.9	108	150	228	778	1 430	2 880	4 500	5 900
赤道直径（千米）	4 878	12 102	12 756	6 786	142 796	120 660	52 400	49 560	2 240*
平均密度（地球:1）	0.98	0.95	1.00	0.72	0.24	0.13	0.21*	0.28*	0.36*
公转的恒星周期[1]（地球年）	0.241	0.616	1.0	1.881	11.86	29.46	84.01	164.8	248.5
自转的恒星周期[2]（地球日、小时、分）	58:15:36	243:00:14	00:23:56	1:00:38	00:09:50	00:10:14	00:17:18	00:17:29	6:09:17
轨道运动平均速度（千米/秒）	48.3	35.1	29.8	24.1	13.0	9.7	6.8	5.5	4.7
重力（地球:1）* 数据存疑	0.38	0.90	1.00	0.38	2.34	1.16	0.79	1.1	0.4*

注 1：行星从给定的相对于遥远恒星的位置绕太阳公转回到相同位置需要的时间间隔。

注 2：相对于恒星旋转360°需要的时间间隔。

* 数字有些可疑。

行星的运动

行星在椭圆形轨道上围绕太阳转动，太阳在椭圆的一个焦点上。行星运动，按相同的方向（当从地球北极的上方看时是逆时针的），并差不多是在相同的平面上。

这些行星的真实轨道运动第一次被精确描述是在17世纪由德国天文学家J.开普勒进行的。他用公式表示了他通过观测得出的控制行星运动的三个定律。第一定律，行星环绕太阳的轨道不是精确的圆，而是偏心率不大的椭圆。第二定律，行星在其轨道上的速度是这样的，使一条从行星到太阳的假想线在相等的时间里扫过相等的面积。因此，当行星在轨道上的位置离太阳近时，行星运动快，当它们离太阳较远时运动较慢。开普勒第三定律指出，行星绕太阳公转周期的二次方与行星离太阳平均距离的三次方成正比。在进行轨道运动的同时，所有行星还都绕它们的自转轴转动。大多数自转是从西向东的，只有金星、天王星和冥王星从东向西转。除掉天王星和冥王星，所有行星的自转轴都差不多垂直于黄道面。

从地球看到的行星的运动被称为行星的视运动。它由于地球自己的公转、自转和自转轴的轻度倾斜而变得复杂了。地球从西向东自转，使得恒星和行星看起来都每天早晨在东方升起，每天黄昏在西方落下。在每天夜里同一时刻进行的观测将表明，一个行星在天空出现的位置要比前一天夜里稍东移一点。不过，周期性地，一个行星会看起来有几个夜晚改变方向，稍微移到它先前位置的西边。当一个天体按照与既定方向相反的方向运动时，它的运动通称为逆行。从地球进行观测时所看到的行星运动方向的颠倒，严格说来只是貌似逆行，因为它只是每当地球超过外行星时所产生的一种假象。例如，因为土星需要29.46个地球年来绕太阳转完一周，所以地球常常经过土星和太阳之间。当发生这种情况时，在几个夜晚里，土星看起来像是停止向东移动，在恒星的背景上倒转它的方向，进行逆行。最后，它看起来又停止逆行，并重新向东移动。

水星和金星也有独特的视运动。这两颗行星看起来都是从太阳的一侧移动到另一侧。当其中任一个行星从地球上观测在太阳东侧时，它就是昏星；当它在太阳西侧时，就是晨星。

卫星绕行星的公转遵循与行星运动同样的轨道运动定律，并且它们的轨道平面与它们所环绕的行星的轨道平面接近一致。大多数卫星，包括地球的月亮，每绕行星公转一周，也绕自转轴自转一周。因此，这些卫星总是以同一侧对着行星。

撰文：Raymond E. Arvidson 和 Susan Slavney

月球 MOON

夜空中最显著的特征是地球的天然卫星——月球。因为月球靠近地球，所以它的视大小和亮度仅次于太阳。可是，在天文学的地位中，它是一个普通的、无足轻重的小天体。它的光只不过是反射的太阳光。在太阳系中，至少还有57颗卫星环绕其他行星运行，其中许多卫星都比月球大。然而，其中只有一个卫星与其所绕行星的直径比值大于月球与地球的直径比值。冥卫一——冥王星的卫星——的直径约为冥王星直径的$\frac{1}{2}$；而月球的直径约为地球直径的$\frac{1}{4}$。月球的大的直径比值表明它对地球有非寻常程度的影响。这种影响明显地表现在由于月球的拉引而发生的海洋潮汐上。

从地球上观察月球

天文学、宗教和计时曾一度紧密地联系在一起。术士或星占学家记录下月相的变化；一些宗教试图协调阴历和阳历，使得一些月份总处于相同的季节。

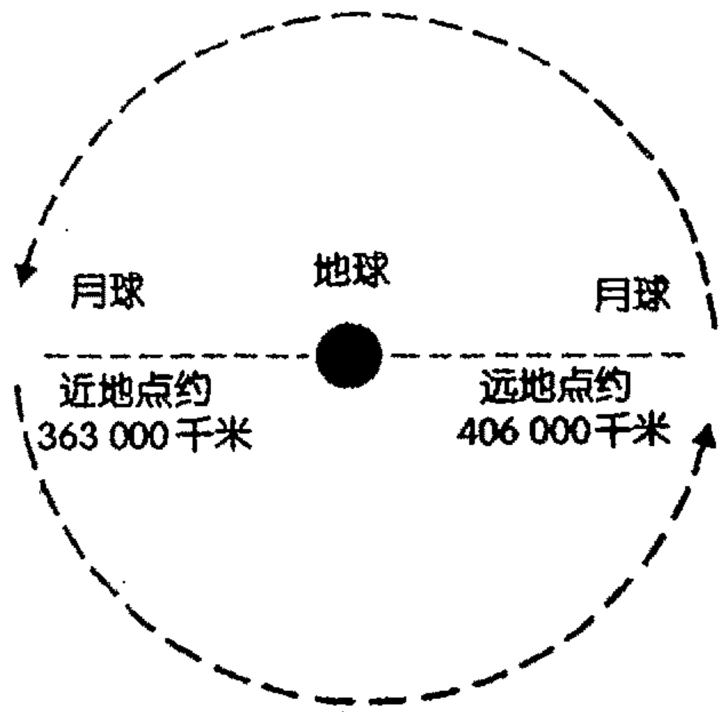
对月球地形的研究始于望远镜的发明。1609年，伽利略用望远镜观察了月球。后来，一些天文学家绘制了月球的自然地形图。他们发现了山脉和平原、一些大环形山和长谷。伽利略的后继者想像月球的平原被水覆盖并称之为月海。这个名称一直延续下来，即使现今已知月球表面并不存在水。

20世纪，天文学家将照相机安装在望远镜上并摄下月球的照片。这些照片常被结合起来用于形成月面图。用照相方法完全准确地拍出的月面图通常是难以阐释的，因为没有空气的月球上出现令人迷惑的暗锐阴影。这些黑影长度的变化伴随着月貌的显著变化。

从地球上探测月球

观察月球所得到的信息已不能满足人们的科学好奇心。对自然界所发生事物的一些计算结果已提供出一些附加的信息。地球上的潮汐已被用于计算月球的重力和质量。在日食期间研究月球的外形。月球黑影的长度可用来帮助测量月球山脉的高度。

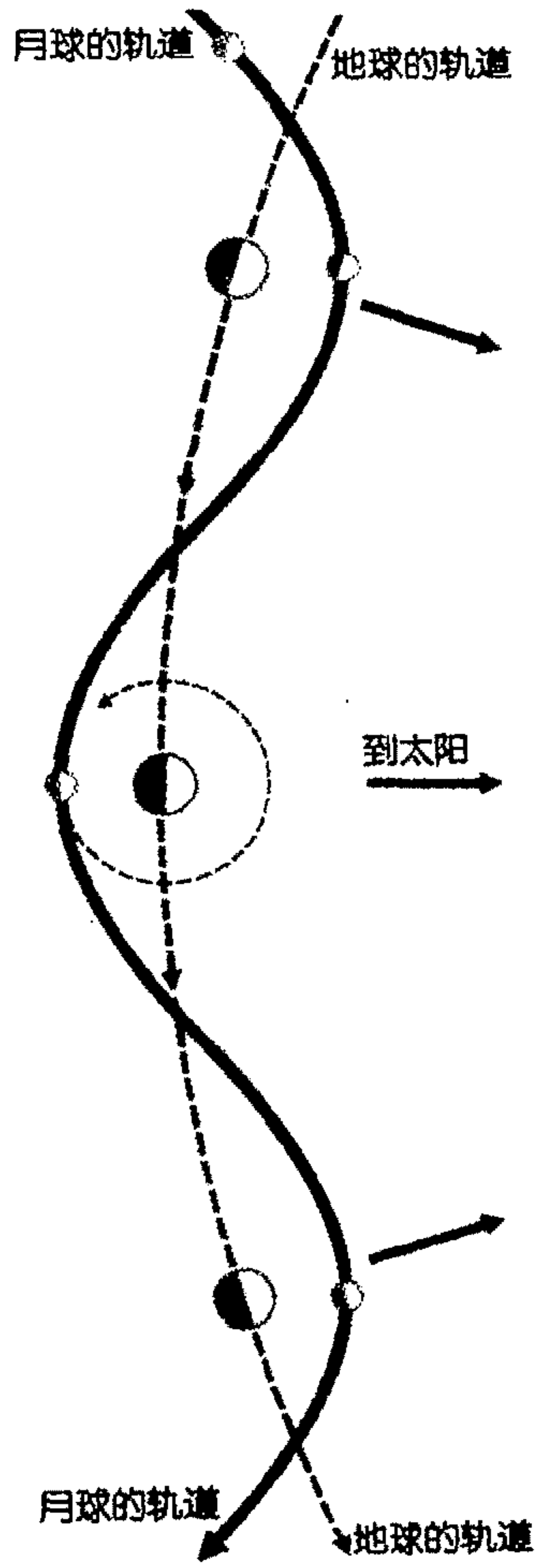
月球相对于地球的轨道



月球相对于地球的轨道为一椭圆。地球和月球之间的最大距离称为远地点。最小的距离为近地点。

分光镜是用于研究月球的重要工具，它将光分离为其各个波长或光谱。光谱指出光源中都存在一些什么元素（见：**光谱和分光镜**）。因为月球反射太阳光，其光谱包括太阳光谱中的全部波长。任何差异都是月球上的环境造成的。科学家从这些差异中已能识别月球表面上的一些元素。

月球相对于太阳的轨道



月球跟随地球一起绕太阳运转。因此月球路径在地球路径的内外侧来回摆动。本图中所示月球和地球的轨道是经过高倍放大的。

有关月球的一些数据

至地球中心的平均距离 384 400 千米
至地球中心的最大距离(远地点) 406 000 千米
至地球中心的最小距离(近地点) 363 000 千米
直径(约为地球的 1/4) 3 480 千米
恒星月(绕地球轨道运行时间) 27.322 日
朔望月(相邻新月间的日数) 29.531 日
绕地球转动 每恒星月一次
重力 约为地球的 1/6
表面温度变化幅度 -153℃-102℃

用不载人太空飞行器探测月球

20 世纪 60 年代,航天器开始提供新的月球数据。在月球旁边通过、撞击月球和绕月球轨道运行的各种飞行已将月球的一些近景照片发回地球。绕月球轨道的飞行提供了一些背离地球那一面的照片。这些照片揭示,与面向地球的那一面不同,月球背面的月海极为稀少。

绕月球飞行的航天器,其速率有意想不到的微小变化。飞越月海时,它们的速率有所增大。科学家们由此推断,这种增大是由重力引起的。这表明月海下面的物质比月面其他部分下面的物质更为密集或集中。这些质量的集中(称为质量瘤)至少发生在 5 个圆形月海之下。当科学家能解释质量密集的构造和起源时,他们将或许也已经掌握有关月海起源的更多知识。

载人太空飞行与月球探测

1969 年 7 月 20 日,乘"阿波罗"11 号作太空飞行的美国宇航员尼尔·A. 阿姆斯特朗和埃德温·E. 奥尔德林(小)降落在月球的静海。他们是第一批踏上月球表面的人。他们在月面上安放了实验设备并带着约 21.8 千克的岩石和土壤标本返回地球。1969 年 12 月,进行第二次载人登月的"阿波罗"12 号降落在"风暴洋"。"阿波罗"12 号的宇航员也做了一些实验并带回一些岩石和土壤标本。

在"阿波罗"11 号中所用的实验设备包括一个激光束反射器、一台地震仪和一具太阳风粒子探测器。设在地球上的几个实验室将激光器瞄准反射器以确定从地球到月球的距离,最初的测量精度约在 4.2 米以内。地震仪记录下几个有关月震、塌方和流星撞击的事件。太阳风粒子探测器被放在月面上使其面向太阳,并将其带回地球用以分析稀有气体。结果表明,太阳风粒子探测器所捕获的氦、氖和氩的数量符合它们在太阳上而不是地球上的丰度。

"阿波罗"12 号的实验采用一台太阳风频谱仪和一个磁强计。后者记录的磁场比科学家们预期的约强 10 倍。另一令人惊奇的发现是,当"阿波罗"12 号宇航员使部分登月舱撞击月球表面时,用已知力和质量的冲击以使地震仪出现一个读数。此后,月球竟振动了近 1 小时。

带回地球的月球岩石

"阿波罗"11 号带回地球的岩石标本大约有一半形成于 35 亿年前的那次使岩石中的物质熔化并重新组成为火成岩的事件中。带回的其他岩石标本为角砾岩——坚硬如水泥的块状物,由各种尺寸的岩石碎块组成。角砾岩和疏松的表面土壤标本的岁数为 45 亿年。火成岩的较短年代表明,月球上曾发生过较大范围的地质活动。

"阿波罗"12 号从"风暴洋"取到的岩石比"阿波罗"11 号的标本年轻。大部分"阿波罗"12 号的标本是由熔融状态结晶而成。这些晶状的火成岩在组织结构和化学成分上变化很大。"阿波罗"12 号带回的土壤标本和角砾岩构成均匀,且比晶状的岩石约早形成 10 亿年。

月球在天空中的位置

月球在天空中没有固定位置，它总是在不停地运动。它的轨道或路径只能同其他天体联系在一起考虑。前面的图示出月球相对于地球的视轨道以及月球相对于太阳完全不同的轨道。这个路径仅为视路径而非实际路径。因为太阳带着整个太阳系以极大的速度越过太空。

几个球将会帮助你看清月球的路径。将 3 个球以相当于太阳、地球和月球的相对位置放在桌上，使它们按本节下述两图中的样式运动。

图 1

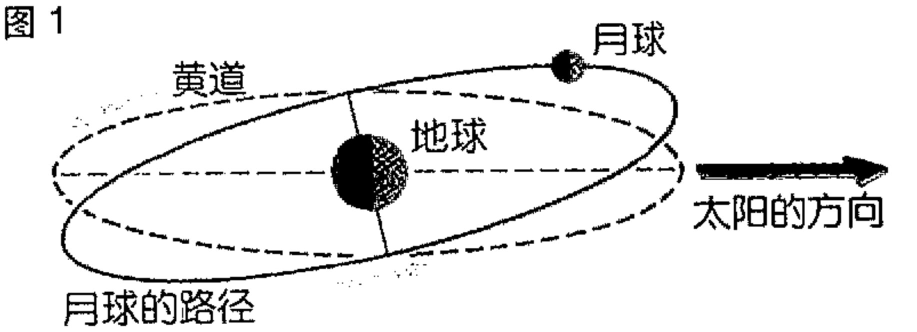
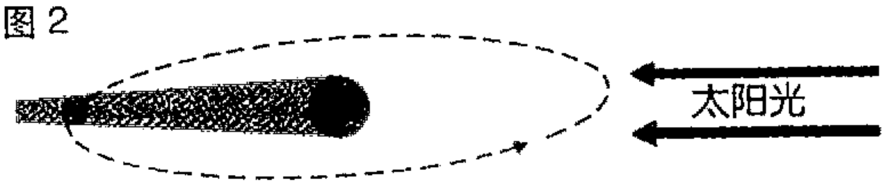


图 2



月球的轨道

月球绕地球运行的路径不是一个精确的圆，而是一个椭圆，地球位于椭圆的一个焦点上。月球最靠近地球的那一点称为近地点，该点距地球中心约 363 000 千米。当月球到达同近地点相对的远地点时，距地球中心约 406 000 千米。近地点和远地点的精确距离逐月改变。

月球轨道不在地球赤道面上，也不在地球绕太阳运行的轨道（黄道）面上。但是，月球轨道面同黄道面接近，二者的交角约为 5°（见图 1）。月球每个月同黄道面相交的两个点称为月轨交点。

月球路径极为复杂，其轨道面连续晃动着回转，就像即将停止前的自旋硬币那样。例如，在某一给定季节，位于黄道面之上（或以北）的月球轨道侧面，有时背向太阳，有时面向太阳。这种转移缓慢发生，每 18.6 年摇晃一周。因为在这种运动中月交点恒定地绕黄道西移，所以这种周期运动有时称为交点退行。

相对于黄道，月球轨道的倾斜方向有时同地球倾角的方向相同；而在另外一些时候却相反。因此，月球在某些年里可延伸到更北的天空，而在另一些年里却延伸到更南的天空。月球轨道的倾斜和晃动也说明了各种食的日期。这些食只有当月球同太阳和地球排在一条线上或非常接近于一条线时才能发生（见图 2）。

各食发生的时间间隔是无规则的，并且它们大约每 18 年重复出现一次。在一个历年中，太阳和月球的全食和偏食总次数不能超过 7 次或少于 2 次。

月球的其他变动

因受太阳和地球的吸引，月球的运动还有其他一些无规则性。当月球走到太阳和地球中间时，太阳企图拉引它远离地球。当月球走到地球远离太阳那一侧时，太阳企图拉引它靠近地球。这些效应称为摄动。

无论何时，月球总是以同一侧面向地球。因此，月球绕地球每运行一周就必须绕其自身轴旋转一周。如果月球不自转，则它每绕地球运行半周就会使其背面朝向地球。实际上，人们可以看到月球的多一半（或约 59%），这是由于月面的摇摆（或前后微倾）而造成的。月球绕地球运行一周同时也自转一周的原因尚未弄清。科学家们猜想，月球的自转可能是相对于地球吸引力的自身调整。这个理论也可以解释为什么月球直径在面向地球的方向隆起 0.54 千米。

月球的时间表

月球绕地球运行一周的时间为$27\frac{1}{3}$天左右。这个周期称为恒星月（图 3，位置 1 至 2）。然而，接连两次出现新月或暗月（这时月球运行到离太阳最近处）的时间间隔为$29\frac{1}{2}$天左右。这段时间称为朔望月或太阴月（图 3，位置 1 至 3），它的时间较长，因为地球也已绕太阳转动了（图 3，位置 A 至 B）。因而，地球、月球和太阳的相对位置有所改变。为了变成新月，月球必须多走一段路程。

图 3

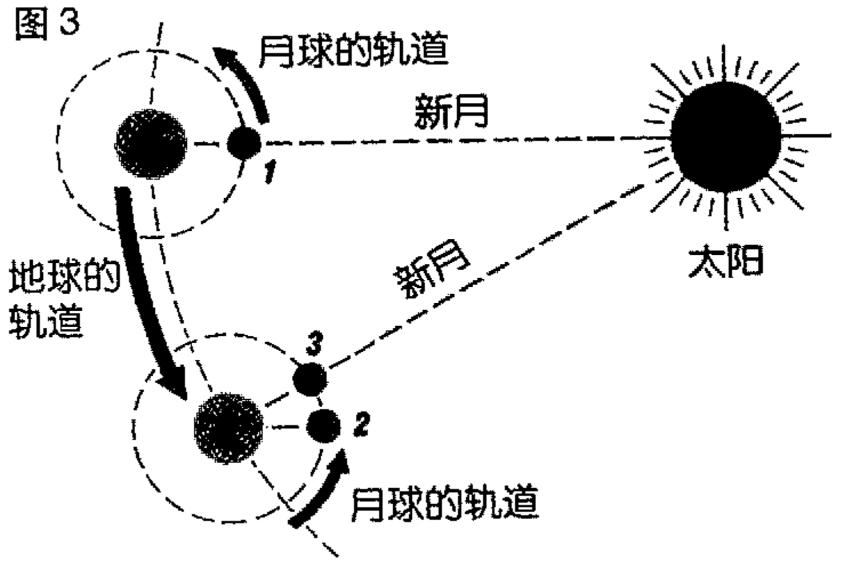


图 4

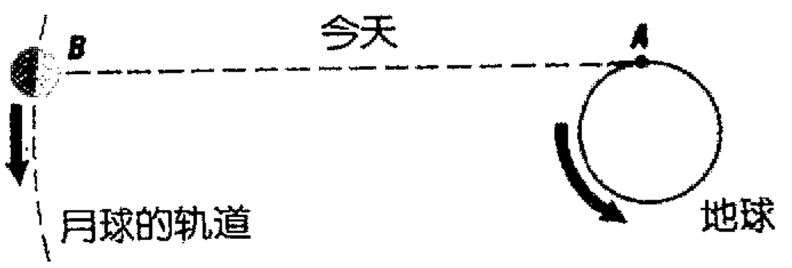
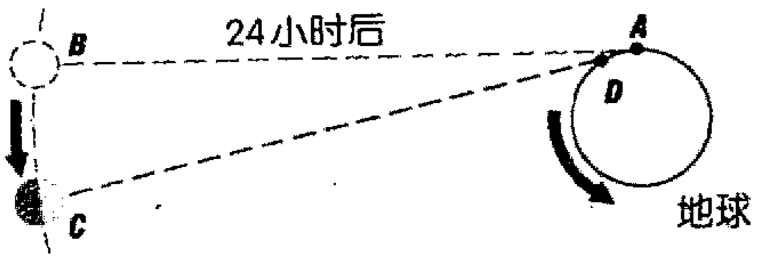


图 5



因为月球以这种方式运动，所以月起和月落时间每天都有所推迟，平均每天约推迟 50 分钟。如果月球能像太阳或恒星那样固定在天空，看来会有一个更规则的时间表。在图 4 中，当观测者到达位置 A 时，看到月球升起。

如图 5 所示，经过一整天或 24 小时后，旋转的地球把观测者又带到同一位置，而月球在其轨道上已走到位置 C。观测者现在必须等待地球的运动将他带到位置 D，然后才能看到月球升起。位置 D 相对于 A 前移了，因为月球绕地球运行的日路程约为其月路程的$\frac{1}{27}$。

地轴对黄道面的倾斜使太阳看来夏季比冬季在天空中更高。这个倾斜对天空中月球的高度也有类似的效应，因为月球的轨道平面几乎与太阳一致。月球绕地球的公转也能产生月球视高度的变化。

月球的大小和月相

有关月球大小的概念可从它与地球大小的比较中获得（图 6）。地球赤道的直径约为 12 870 千米，而月球直径约为 3 480 千米。如何比较月球与太阳的大小呢？用 1 支修尖的铅笔在纸上画一个小点，这个小圆点可代表月球。画一个直径为 20 厘米-25 厘米的圆，此圆就能大致表明太阳与月球（用圆点表示）相比较的大小，因为太阳直径约为 1 392 000千米。（见：**太阳**）

图 6

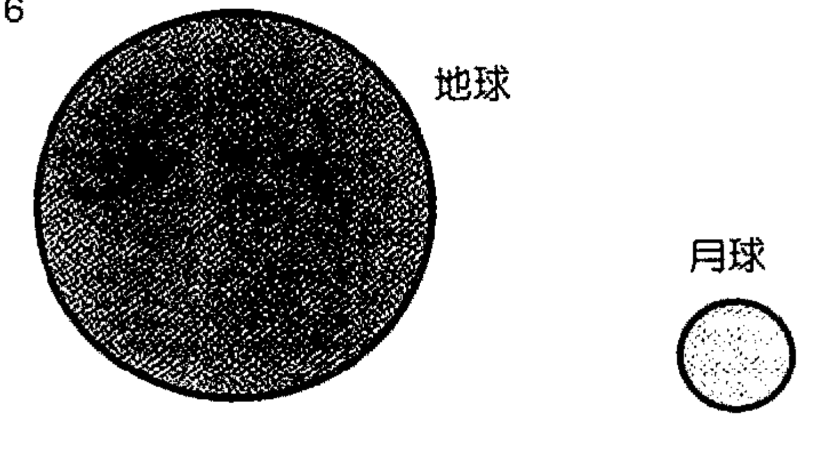
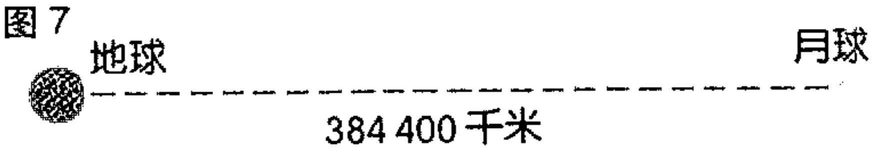


图 7



月球至地球的平均距离约为 384 400 千米（图 7）。这看来是一个极大的距离，可是天文学家认为这是一个近距离。月球或地球至太阳的距离约为 1.5×10^{8} 千米；此距离被定义为 1 个天文单位。一些恒星被认为远在 10^{21} 千米之外。（参见：**恒星**）

月球本身不发光。除了在被地球影子遮蔽的少见场合，月球始终面临充足阳光的照射，因而月球的一半几乎总是被照得极其明亮。只当月球在与太阳正相反的位置时，从地球上才可以看到全部被照亮的一面（图 4）。当月球和太阳在地球的同一方向时，从地球上不能看到月球被照亮的部分（图 3A）。在这两个极端不同情况之间，只能看到部分被照亮的月球侧面。这些变化的外貌称为月相。为了便于研究，可将月相分为 4 个组：

新月 只当月球走到地球朝向太阳的一侧时才能出现新月。月球朝向地球的一侧没有光亮，所以常称为暗月或朔月。假如它是可见的，就会看到它夏季升得很高，而冬季升得很低。春、秋两季它的高度介于夏、冬两季之间。在暗月之后的几天以内，可在日落不久的西部低空看到日渐变宽的纤细的弯月。

上弦 月球面向地球的半个侧面露出亮光。它在中午前后升起，当日落时到达其最高点，并在接近子夜时沉没。它秋季升得低，春季升得高，而夏、冬两季行程的高度介于春、秋两季之间。

满月 或称望月。此时地球上的观测者看到的月球整个侧面都是明亮的。当太阳西沉时，满月在东方升起。它整夜不落，约子夜时到达其最高点。它在夏季天空就像冬至中午的太阳那样低，在冬季的视高度同夏季中午的太阳可以相比。在春、秋两季，它的高度介于以上两者之间。

最接近秋分的满月约出现在 9 月 23 日（那时白天和黑夜等长），升起得最早。它为通常工作到很晚的收割庄稼人照亮道路，被称为收获月。随后一个月的满月也是一个早的升起者，称为猎人月。

下弦 同上弦一样，月球面向地球的半个侧面是亮的。下弦月约在子夜升起，破晓时最高，约在中午沉没。早晨，它位于西部天空。它秋季升得高，春季升得低，而夏、冬两季升起的高度介于以上两者之间。下弦后出现的月牙将日益变窄。当它从下弦向新月相靠近而完成一个循环时，通称为暗淡的娥眉月或下弦月。

往往在逐渐变宽或变窄的明亮月牙两角环抱的月面其余部分，竟然可以看到微弱的光。月牙因接受日光直接照射而发光，而月面其余部分则由于地球反照而得见。地球反照是由地球的光照区反射到月球的阳光。这个外观一般称作"新月抱旧月"。在满月和两个弦相之间，月球好像一个歪球，称为凸月。

娥眉月的月牙钩

弯月的两月牙钩总是背离太阳。想像一条连接月牙两尖端的直线及一条同此线垂直并通过月牙中间的直线，后者将大致指向太阳。约在秋分时节，日没后从地平线附近看到的纤细倾斜新月，其尖端边线几乎垂直于地平线。在春季，新月的月牙位于较高空，并几乎正好在日没处的上方，两角尖之间的连线几乎平行于地平线。在极个别情况下，太阳升起后一两个小时之内被云层遮蔽，但在地平线附近留有一条清晰的窄带，这时可以看见新娥眉月具有向下的月牙钩。如果日落前一两个小时太阳被遮蔽，则旧娥眉月也具有向下的月牙钩。

艺术家有时将一颗星摆放在月牙的两钩中间。柯尔律治在《古舟子咏》中犯了同样错误，他写道：

"带钩的弯月，抱住一颗亮星

在它的下钩尖内。"

从来没有人在那里看到星。即使只看到明亮的镰形月光，月球是个实体球，人们也不能透过其黑暗部分看到远方的星。画家也曾把黎明时或各季节中的月相放错了位置。

月球的地形

看上去像"在月球中有一个人"的外貌是由许多环形山、山峰、深狭谷和平原(或月海)构成的一个组合体。最大的月海称为雨海,其直径约1 126千米。

在面向地球的月球一侧有另外大约20个重要的月海,它们有诸如澄海、危海和云海等名称。虽然它们称为平原(因为它们是整个月面上几乎最平的地区),但也不是完全平坦的,其上山脉交错、环形山密布、悬崖和峭壁随处可见。

一种理论是,月海是在数十亿年前月球内部炽热时,由多次可怕的陨石撞击而生成的。陨石撞击能产生巨热,使月面熔化,并从内部放出熔岩而形成月海。一个更为近代的理论认为,陨石撞击很可能将岩石粉碎而不是将其熔化。1964和1965年拍摄了月球照片的3个美国"徘徊者"号探测器增强了科学家中间对月海主要是由火山灰或熔岩流、粉尘或一些未知物质组成的推测。

月海为巨大的山脉所环绕。它们取地球上诸山脉的名称,如阿尔卑斯、比利牛斯和喀尔巴阡等。最高的月球山脉是莱布尼茨山脉,其最高峰达9 144米。

在月球表面分布着数万个环形山,它们常互相交搭在一起。天文学家长期以来就对它们的起源进行着争论。环形山可能由数十亿年前的火山所产生,现在这些火山已变成死火山。一个更广泛采纳的理论认为,它们是由陨石雨和火山活动的双重原因造成的。

许多月球环形山是以天文学家的名字命名的。第谷、哥白尼、开普勒和一些其他环形山有辐射纹。它们是从环形山周围像轮辐那样放射出去的一些浅色线条。一些辐射纹的长度超过1 600千米,其宽度没有一条超过20千米。1964年,"徘徊者"7号月球探测器首次提供这些辐射纹的逼近照片,从照片上发现它们是一串串小环形山。大多数科学家认为,它们由大环形山喷出的碎片撞击而成,而大环形山由陨石撞击而成。大环形山的直径从小于1.6千米到几乎240千米不等。同月海一样,它们也被高峰环绕。

在月球上有1 000多个深谷,称为沟纹或裂痕。它们长16千米-483千米,宽小于3.2千米,深度不详。这些沟纹被认为是月面的裂缝,它们沿着由于某种内部加热和膨胀作用产生的脆弱地带而形成。在日全食期间,照到月球边缘深谷中的阳光可以形成一圈亮点,称为"贝利珠环"。

月球有大气吗?

多年来科学家认为月球上没有气体或大气的痕迹。现在有月球大气存在的证据,尽管它可能几乎是太稀薄而无法测量。在巨蟹座星云的掩食期间,天文学家在剑桥大学用射电望远镜发现,该星云的光线发生微小弯曲。这种偏斜可能是由月球的稀薄大气造成的。

1956年,观测者报道,在阿方索环形山之上看来有一片云。1958年,苏联天文学家尼古拉·A.科祖列夫宣布一个来自月球环形山的表观喷出物。他拍出的光谱图指出月球上存在一些稀薄气体。他的发现重新引发月球环形山的两种起源(火山活动对流星撞击)之争。许多科学家认为科祖列夫所看到的不是真正由火山活动所产生的喷出物,而可能是由热引起的从月面以下出来的一股气体和粉尘。在阿方索环形山以内的一些小环形山有所谓"黑晕",它们被认为是沿着沟纹分布的已填满沟纹的那些物质的沉积物。

大部分科学证据支持以下的学说:月球在其表面之下是冷且硬的。它指向地球的直径只稍有增大。假如月球内部仍处于炽热和熔融状态,则重力或许可能对月球直径产生比目前大得多的影响。

月球朝向太阳的表面吸热,在这些时候,月面温度可达119℃左右。月球背向太阳的表面可冷却至-135℃的温度。仪器已测出月面的冷却比月面以下部分要快得多。这可作为月面物质不同于月面以下物质的证据。

月球探测任务

在1957年国际地球物理年之始,美国和苏联都增加了对月球探空火箭的研究。在其后几年里,人们对月球已有更多的了解。

1958年,美国将"先锋"1号火箭发射到地球至月球距离的$\frac{1}{3}$处。1959年,苏联的"月球"1号在距月球7 500千米以内越过月球并进入绕太阳运行的轨道。1959年和1960年发射的"先锋"4号和5号也越过月球并进入绕太阳的轨道。

1959年,"月球"2号在月球硬着陆。同年,"月球"3号将第一张月球背面的照片发回地球。1964年7月31日"徘徊者"7号成为美国第一个拍摄月球照片的航天器。全部早期探测器或绕过月球,或在月球硬着陆。

更先进的航天器可以在月球软着陆或进入绕月球飞行的轨道。1966年2月3日,苏联"月球"9号下落到"风暴洋"中,这是第一次无损伤地降落到月球上。"月球"9号在其电池枯竭前,只发回几张照片。美国的探测器"探测者"1号,于1966年6月2日也在"风暴洋"降落,并发回11 000多幅照片。随后的"月球"号和"探测者"号软着陆飞行器都携带了照相机和表面研究仪器。

苏联的其他"月球"号探测器同美国"月球轨道航天器"一样被送入绕月球运行的轨道。1966至1967年,"月球轨道飞行器"对月面做了广泛探测,寻找适合"阿波罗"系列载人航天器的着陆地区。1968年12月,"阿波罗"是第一个绕月球轨道飞行的载人航天器;1969年7月,"阿波罗"11号把第一个人带上月球表面。1969年至1972年,美国宇航员对月球进行了另外5次考察。他们拍摄了数千张照片,采集了大量标本,进行了一系列实验,其中设计的几个实验可用来更多地揭示有关月球的内部结构。1972年12月,"阿波罗"17号结束了美国的载人登月计划。虽然苏联的载人航天器从未在月球着陆,但是在1970年和1972年却两次将遥控车放在月面上。1974年以前,苏联一直继续发射不载人的月球探测器。

撰文:Robert I. Johnson

食 ECLIPSE 当3个天体在各自轨道上的位置排成一条直线时,就出现所谓食。天文学家所知的许多食,有两种不同类型。在第一种类型中,遮挡天体运行到观察

者和被遮天体之间。在观察者看来，被遮天体全部或部分被遮挡天体所掩食。第二种类型的食只影响行星或天然卫星。在这种情况下，遮挡天体运行到太阳和被遮天体之间。虽然被遮天体留在观察者的视野中，但是太阳光线不再照到其整体或局部，被遮天体由于进入遮挡天体的阴影中而变暗。这类食事的例子是月食及木星的卫星食。

日食和月食引起人们的注意由来已久，因为它们无需借助望远镜就能看到，而且给人以难忘的景象。由于日全食期间降临的黑暗或月食的怪诞景象而使原始人类陷入一片惊恐之中。在一些最古老的历史记载中可以找到对上述那些食的描写。（见：天文学）

日食

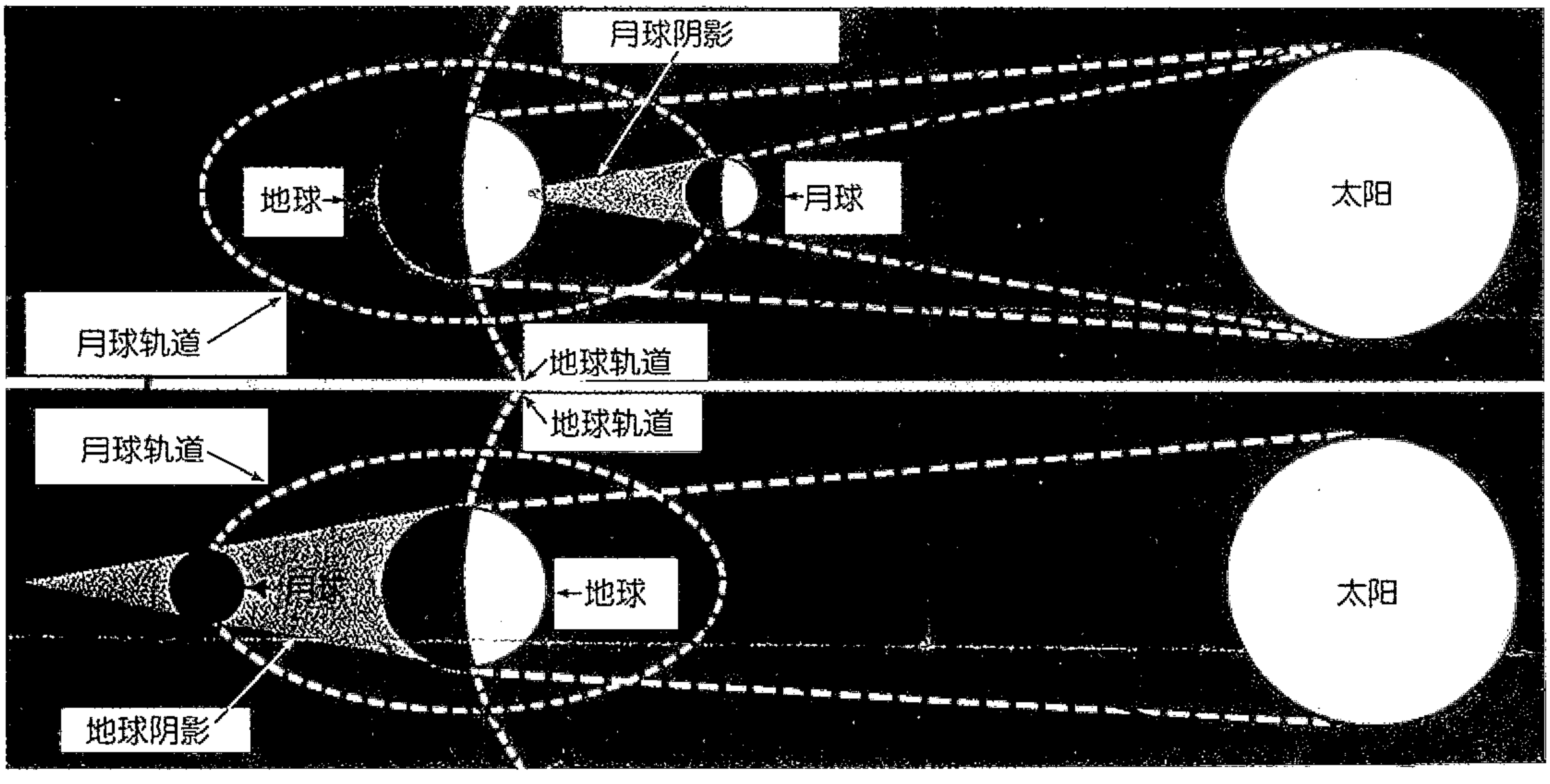
当绕地球运行的月球横穿太阳圆面而走到太阳和地球中间时，月球的影子落到地球表面，从而发生日食。在阴影的内区（本影区），没有太阳光线射入。对于在本影内地球上的观察者，太阳圆面看来完全被月球所遮蔽，这种日食即所谓日全食。由于同地球交会的本影狭窄，因而只能在地球上很窄的地区（称为全食带）看到日全食。因为地球和月球的相对运动，影子很快掠过地球表面，所以日全食只延续一段短时间——在地球上任何一个地方都少于8分钟。对位于月球阴影外区（半影区）的观察者，太阳圆面看来被月球圆面遮住一部分，这称为日偏食。

因为地球绕太阳运行的轨道为椭圆形，所以在一年期间地球到太阳的距离有少许变化。同样因为月球绕地球运行的轨道为椭圆形，所以在一个月之中月球圆面的视尺寸也略微有些变化。如果日食发生在太阳距地球最近而月球离地球最远时，则月球不能完全遮住太阳，在太阳边缘留下一圈光环，这称为日环食。一年可出现2至4次日食；偶尔也能出现更多次，如1935年就发生了5次日食。

日全食曾帮助科学家获得大量有关太阳色球和日冕本质的知识。日冕是太阳大气的最外层，它平时被发光的太阳表面（或光球）射出的明亮刺目的强光所掩没。日全食期间，月球在地球大气之外起屏障的作用，将直接从光球射来的光线阻断，于是天空的亮度大为降低，从而可以看清太阳的暗淡部分。近年来，观测日食的科学价值有所下降，这主要是由日冕仪的发明所带来的结果。用日冕仪可人为地屏蔽光球，使研究人员得以观测太阳色球和日冕而无需等待出现日食。

月食

当月球进入地球阴影从而失去从太阳得到的明亮照度时，就发生月食。月食只能发生在满月——即月球正对着太阳之时——因为地球的阴影是正背着太阳。从地球上任何地方，只要月球在那里的地平线之上，都可以看到月食。月食可为月全食、月偏食或半影月食，这要依月球的位置而定。如果月球穿过地球本影的中心，就会发生月全食。全食可以延长到100分钟，而整个月食可延续约$3\frac{1}{2}$小时。当月球只有一部分穿过本影时，可以看到月偏食。当月球只穿过阴影的外区时，就会出现半影月食。月食一般每年发生两次。但是，在某些年里可能没有月食，而在另一些年里可能发生1次或3次月食。



日食期间（上图），月球位于太阳和地球之间。有月球阴影落到的地表区域内，太阳光被月球遮蔽。月食期间（下图），地球位于太阳和月球之间。地球阴影落到月球上，射向月球的太阳光被地球遮蔽。

其他类型的食

从地球上望去，月球出现在以远方群星为背景的天空中。当月球东移穿过众星座时，偶尔在一个恒星或行星前面通过，从而产生一个掩星。可利用对掩星的精确计时观测来研究月球的轨道运动。对星体消失时间的测量还能提供有关星体直径的信息。

水星和金星这两个行星距离太阳比地球距离太阳近，它们有时在地球和太阳之间通过，这时，地球上的观测者可看到投影在光亮的太阳圆面上的一小黑圆点在日面缓慢移动，这就是凌日现象。

食双星是互相环绕运动的两个星体组成的双星系统。从地球上望去，其中一个星体周期性地在另一星体的前面或后面通过，在每一周转动中，发生两次掩食。从双星系统亮度变化的规则，可以计算二体的轨道及其相对尺寸。（见：**恒星**）

极光 AURORA

极光主要出现在南、北两半球高纬度地区，是夜空里的彩色发光现象。北半球的极光称为北极光。在美国的阿拉斯加和北部其他各州，北极光最为常见，也很壮观。一年大约可以看到 25 次。南半球的极光称为南极光。

极光通常是白色的，略带点绿色调，但是也可能带点浅黄色或者粉红颜色。垂直的射线是常见的，像探照灯的光。在美丽的冕状极光中，射线似乎在天空汇集成星状。在壮观的火焰样中，舌状的射线向上呈波状。从弯曲的光带垂直向上的光称为帘幕状极光。

来自太阳黑子和耀斑的高能带电粒子激发高层大气的稀薄气体，使它们发光，出现极光。极光多出现于春秋两季，因为那时候地球与太阳上黑子既大又多的区域最为接近。然而某些地区可能在冬季里极光的出现最为频繁。

来自太阳的粒子由于地球磁场的作用而向地磁极偏斜。（地磁极是地球磁场的轴的标志，与磁极不是一回事，后者是磁力线垂直的地方。）粒子与氧原子和氮原子碰撞，推出了电子，剩下处于激发态的离子。离子发射出不同波长的辐射，形成彩色的极光。

1989 年春季，横跨北半球远至美国南方加利福尼亚州、佛罗里达州、亚利桑那州的天文学家都观察到了一系列瑰丽壮观的极光。尤为突出的是 3 月份（出现了特别红的极光）和 5 月份（出现了弧状、线状和片状的带绿色的极光）。（参见：**天文学；大气；太阳**）

流星和陨石 METEOR AND METEORITE

一条烧着的亮闪光横过夜空，随即消失。偶尔这种闪光能直达地面而产生炮声般的隆隆声。古人看到这种现象时，他们以为是见到了一颗从天上掉下来的星，而称其为流星。

今天，人们对这些发光痕迹当然有了更充分的了解，我们已知它们是从外空进入地球大气层受热气化的石块或金属小块。它们在入大气层之前，称为微陨星体。但一进入大气后，就称为流星。多数流星都到不了地面——它们都很小，入大气层后就会全挥发掉。不过，有时其中较大的会留下未受损的部分。这些大而实密的落地尚存物，便称为陨石。尽管每年有成千上万个微陨星体进入大气，但估计只有 500 颗左右未挥发尽而落至地面。

陨石的分类

尽管来自外空，但陨石所含的化学元素与地面上物体中的相同。不过这些陨石中元素含量之比，却与地面上的有显著的差别。由它们融合成的岩石，有其特殊的结构方式：它们不是铁镍合金，就是富于硅和氧的岩石。

陨石可按其成分而分为三种。第一种是铁镍合金，称为铁陨石。第二种由石头组成，叫石陨石。由石与金属混合组成的为第三种，称为石铁陨石。训练有素的观察者可以用眼、化学试验或酸蚀剂法辨认出铁陨石，酸蚀会使之成一十字交叉带状的特殊图样。最常见的落地陨石是石陨石。不过，就未经训练的人看来，它们和地面上的石头很相像。因此，用眼来分辨它们要比其他方法难得多。可是，化学测试和 X 射线检验能确保认出真正的石陨石。

有时，一种小的天然玻璃状物体被列入陨石的范畴，称为玻璃陨石，尽管我们并不认为它像陨石那样来自外空。玻璃陨石有些像地面上的玻璃，是由大陨星与地相撞而生的。但从其特点推测，它们并非出自地球，而是来自地月系统。其真正来源仍不清楚。

流星入地的历程

来自外部空间而接近地球的微陨星体被地球的重力场所捕获。这样，微陨星体就会被重力拖入大气层而落向地面。

当微陨星体穿经大气时，速度很高——每小时从 1 800 千米到 8 400 千米——远比周围空气流速要高。这不但会从所生的冲击波而造成空气中的隆隆声，还会产生大量的摩擦热，使得流星表面温度高至其沸点而挥发掉，形成了大量微尘。大多数流星都很小，在其路程中便全挥发掉了，形成了数百万粒烧尽的尘埃而落到地面。

连大流星的表面层也会很快熔化掉。当掠过的气流将其最外层吹掉后，就暴露出下面的新外层。表面熔化时向外发出放光的粒子注，跟在星后的尾流在大气中穿行，产生了一条辉尾。

特别亮的流星称为火流星。其亮度被认为主要是由于流星前的空气受压而放光之故；后者形成了一直径远比流星本身大得多的光亮气体囊层。

流星在大气中所经历的时间只有短短几秒钟。如流星足够大，则其表面处所生之热来不及深入其内部。当该星接近地面时，空气阻力使之变慢。在较低的浓大气层中，流星常会爆裂成碎片，而产生陨石雨。近代，最大的陨石雨于 1833 年 11 月 12 日发生在北美洲。不过，若一流星保持完整，火球就会消失，在碰地前，熔化的流星表面凝固成一黑色外壳。

大陨石表			
名称	重量(吨)	落地地点	现在存处
霍巴·韦斯特	60	格鲁特丰丹（纳米比亚）(南非)	同左
阿尼吉托	34	约克角（格陵兰）	海登天文馆（海登）(美)
巴库维里托	20	锡那罗亚（墨西哥）	矿业学校（墨西哥城）
威拉米特	15	威拉米特(河)（俄勒冈州）(美)	海登天文馆（海登）(美)
丘帕德罗斯	21（成两块）	奇瓦瓦州（墨西哥）	矿业学校（墨西哥城）

多数陨石在碰地时破碎成小粒，但亦有极少数例外。已知的一个例子就是重约 60 吨的霍巴陨石。它落在非洲纳米比亚，过了几世纪后才被发现。第二大的是重约 34 吨的阿尼吉托陨石，它在格陵兰被发现。

陨石坑

当 100 吨以上的陨石碰地时，就会引起巨大爆炸。它的急速的前冲运动在短短的一秒钟内受阻而停止，部分陨石与地面受到强压、强热化为蒸气。在爆炸时，陨石的大部分被吹刮掉，地面撕裂成一巨坑。地球表面上有不少的大陨石坑，知其是由陨石撞地所成。这在世界各处均有发现——从澳大利亚中部到阿拉伯大沙漠。世界上最大的陨石坑在北美的魁北克。美国最大的位于亚利桑那州的温斯洛，简称流星坑，其直径有 1 200 多米，深 180 米。

流星起源的学说

地球在环日而行时，不断受到微陨星体的迎头碰撞。在晴朗的黑夜，观察者每小时中会看到 10 个或更多的流星。有时，可意外地看到一个紧接着一个的众多小流星——或许能到每小时 50 多颗。这种表现便称为流星雨，这发生在地球穿过一大群微陨星体之时。由于这些流星很小，所以一般都在高空中被烧尽而从未到达地面。

有些流星雨每年都定期出现，这正好和地球路过一彗星轨道时相合。当一彗星在其轨道上运行时，它留下一长串碎片。这种碎片可能是从彗尾中逸出的砂粒块与冰粒块，或者是一彗星分裂后遗下的一些碎块。因此有些天文学家便提出：引起流星雨的微陨星体，实际上就可能是这样的彗星碎片。（参见：**彗星**）

全年流星雨表		
流星群(雨)名称	出现(大致)日期	与其有关的彗星
天琴座流星群	4 月 21 日	1861 Ⅰ
宝瓶座 n 流星群	5 月 4 日	哈雷彗星(?)
英仙座流星群	8 月 12 日	1862 Ⅲ
天龙座流星群	10 月 10 日	贾科比尼-津纳彗星
猎户座流星群	10 月 21 日	哈雷彗星(?)
金牛座流星群	11 月 4 日	恩克彗星
仙女座流星群	11 月 14 日	比拉彗星
狮子座流星群	11 月 16 日	1866Ⅰ

另外，陨石——到达地面上的流星——其成分与小行星相似，其轨道也如此。再有，它们有规则的成分表明它们可能有来自一个或很少几个天体的公共来源。因此，有不少天文学家相信：流星体是从一个或多个小行星分裂出来的。

当前有证据表明：少数陨星可能来自月球和火星。科学家们提出至少有三颗陨星，可能就是一些大天体撞击月球表面时产生的碎片。也还主张有几颗陨星或许是火星表面受到类似的碰撞的结果。

人类对流星和陨石的认识还很不完全，但收集情报的工作每年都有进展。当陨星下落时，训练有素的观察者在其运动中或消毁前，就能尽量收集其资料。有时，他们能在陨石碰地后 24 小时之内在实验室中对资料进行分析考察。研究人员亦可用雷达跟踪在空中穿行的流星。

小行星 ASTEROID

有的时候人们通过望远镜可以看见一个光点，它看上去像个恒星，但是又看见它在许多恒星之间移动。它可能是一颗行星，也可能是一颗小行星。有好几千个这样的小天体围绕着太阳旋转。其中多数的轨道介于火星与木星的轨道之间。也有少数的轨道更加接近太阳。那些离太阳比离地球近些的小行星称为阿波罗小行星。已知轨道最小的小行星甚至在水星的轨道以内通过。

这些小行星的发现可以追溯到 1801 年 1 月 1 日。当时意大利天文学家玖再皮·皮亚齐发现第一个小行星，命名它为谷神星。已经登记编号的小行星大约有 3 500 颗，每年还都在发现新的小行星。它们的轨道一般都是很长的椭圆形，一端靠近太阳，另一端离得远些。最大的小行星谷神星的直径大约有 1 000 千米。其次是智神星(534 千米)和灶神星(386 千米)。小行星有时候含有异常多的金、铂、铁和镍等金属。

1898 年发现的爱神星有时接近离地球 2 250 万千米的地方。1937 年赫尔墨斯经过离地球 780 500 千米的地方。从那时候起这个小行星就失踪了。第一次接近小行星并进行摄像的是空间探测器伽利略号，1991 年它在飞行中曾经离小行星加斯普拉很近。在这以前，科学家只能通过地面上望远镜研究小行星。（见：**天文学；太阳系**）

土星 SATURN

见：行星

彗星 COMET 人们现在兴趣非凡地渴望见到彗星，但许多世纪以来，彗星却被认为是人类灾害的预兆；特别是，它们的出现被视为瘟疫、战祸和死亡的先兆。过去曾一度认为：彗星是从地球上升的蒸气形成的。直到17世纪，彗星才开始得到正确的认识。1682年一颗彗星出现了，天文学家埃德蒙·哈雷对它进行了观察。他还对自1337年来时时出现的24颗彗星做了研究并写下记录，也对其运动轨道做了计算。他发现：1531、1607和1682年所出现的彗星，几乎在同一轨道上运动。因此断定它们是同一颗彗星，并会在1758年前后再来。

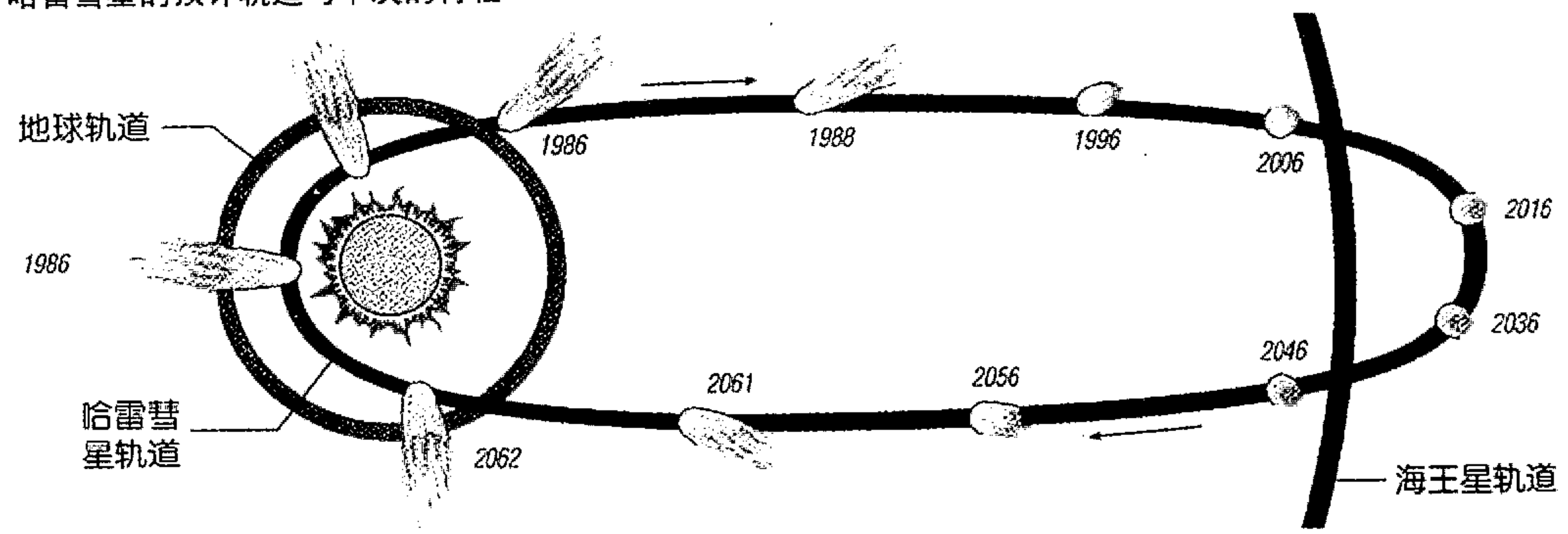
哈雷的上述预言是正确的，因该彗星确于那年出现了，尽管他本人未能见到它，因为他死于1742年。这样，科学家就首次认识到彗星可能是天空中的定期访客，这颗伟大的彗星后来便叫哈雷彗星。它曾出现于1910年，1982年末，在其预期之处出现了很暗淡的斑点，该彗星在1986年绕过太阳。

彗星的构造和组成

彗星的中心核如一个大的脏雪球。一般认为其中约含25%的尘埃、岩石和75%的冰。冰主要是冻结的水，还含有甲烷、氨和二氧化碳甚或分子亚单元等的化合物。迄今为止，科学记录下的彗星约有650颗，其中直径最大的约为68千米，最小的为0.5千米。无疑有更小的彗星存在，但因不够亮而未能为光学望远镜所看到。当彗星行近太阳时，就会失掉它的一些物质，一般每经一次轨道运动约损失其总质量的0.3%。彗星核的密度略低于水，且为稀薄尘埃所包围。核性脆弱，已观察到其破裂成片的现象。

当彗星行近太阳时，它的冰便开始升华——即从固体直接变为气体。气体带着松散相连的微尘粒一起走。气体围住核而展开成一称为彗发的稀薄大气带。阳光使彗发中的原子形成一梨球状的亮辉团，其直径长达100 000千米。若由核给出的气体有变化，则彗星会出奇地变亮或变暗，这就使天文学家无法预言一彗星会变得多亮。

哈雷彗星的预计轨道与下次的行程



对地球观察者，哈雷彗星的周期约76年。该彗星沿一椭圆形轨道绕太阳而行。此轨道的一端入地球轨道之中，另一端则越出海王星轨道之外。该彗星接近太阳时开始生彗尾，离开太阳时彗尾逐渐消失。

当彗星向太阳接近时，含高速原子核、质子和电子的太阳风会将彗星中的气体刮离太阳，产生一长达1.5亿千米的尾巴——彗尾，也可能再出现一条由尘粒组成的尾。这尘尾比气尾要短和弯。彗尾总是伸向背离太阳的方向，这是因为彗星物质受到太阳风和辐射所产生的力的影响（见：**太阳**）。因此，当彗星行离太阳时，其彗尾总是在彗星的前方。我们所看到的一些彗星，有多达9条彗尾的。

彗星分两大类：短周期彗星和长周期彗星，前者周期短于200年，后者周期的数量级则长达几百万年。短周期彗星属太阳系成员。当长周期彗星到离太阳最远之处，它可能是在太阳与最近的一些恒星系的中间。有时，彗星会与地球相撞，例如1908年在西伯利亚中部发生的通古斯大爆炸事件，被认为属于这种相撞。

对彗星起源有几种说法。一种众所接受的观点就是：彗星与太阳系一样老，它是形成天王星和海王星中剩下来的碎块。它们的运行轨道原来是接近圆形的，后来被其他行星的引力场拖曳成极扁长的轨道，这情况现在尚在持续进行中。成亿的彗星核存在于一称为奥尔特云的区域中，它如一气泡似地包围着太阳系。这样的核或许会受到较近恒星的引力干扰而进入太阳系。

平均每年发现5颗新彗星。其中多数的光很弱，用望远镜才能看到。20世纪以来，从地面例外看到的少数亮彗星有：哈雷彗星、阿连德-罗兰彗星和池谷-关氏彗星。

彗星的命名

不少业余天文学家为寻找新彗星而对天空密切注视。对新发现的彗星，首先给出其发现年的记号，接着在其后用一小写字母来表示在该年中发现的顺序。例如，1990e就是在1990年中发现的第5颗新彗星。后来，当确定了其近日

点(或最近太阳处)后，便将命名改为一日期后跟以一罗马数字。如果1990e是1991年到达其近日点的第3颗新彗星，则便称其为1991III。这时，还将用其发现者(不超过3人)的名字来正式命名。

恒星 STAR

古代的人认为一颗颗的恒星是一个巨大的中空的球的内壁上一个个微弱的亮光。他们编造了许多星星的故事，还把他们日复一日、年复一年地在夜晚看到的星星的图形给取了名字。只有在现代天文科学诞生之后，才开始揭示宇宙真正的本质。(见：**天文学**)

科学家还不能精确地说清楚到底什么是恒星。然而对于给地球光和热的太阳的这些不计其数的同伴，人们已经知道了许多有关它们的事实。

我们知道得最多的恒星是我们自己的太阳。它是我们的太阳系的中心，地球绕着它转。太阳只是几十亿颗恒星中的一颗。同样地，我们的太阳系也只不过是我们称为银河的巨大的星系里的一个小小的部分。通过望远镜可以看见许多其他的星系。(参见：**太阳；行星**)

恒星的性质

天文学家通常都同意的看法是说多数恒星的直径大致与我们的太阳相近似。但是有的恒星只有太阳的十分之一大小，还有些却比太阳大100倍还多。

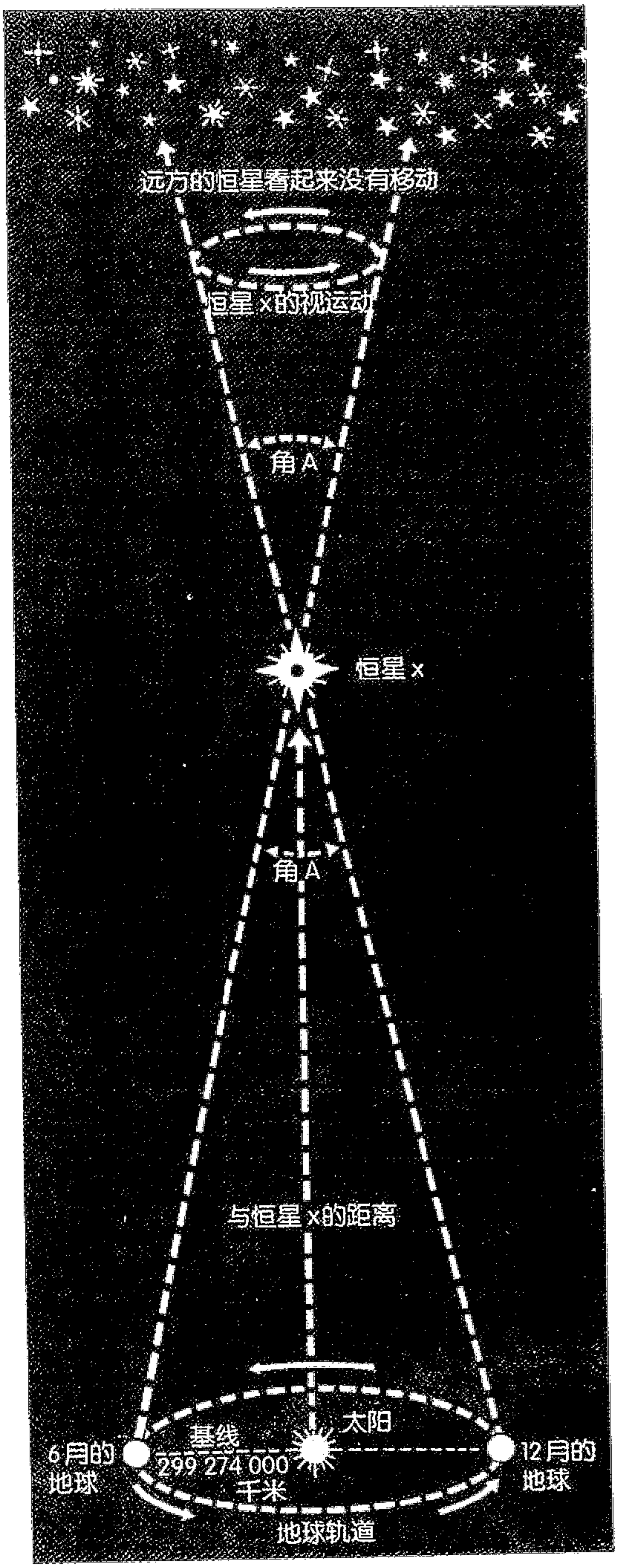
恒星实际上是白炽气体组成的巨大的球体，它的亮度取决于它们的体积与温度。这些热球都是非常大的原子能动力厂，现在大家相信它们的能的释放过程与氢弹爆炸时发生的热核反应过程相类似(见：**核能**)。恒星的化学成分是通过天体物理学这门科学测定的。许多恒星的气体可能稀薄得令人难以置信，它的粒子或者原子彼此之间的距离遥远。它的密度只有我们呼吸的空气的千分之一。然而，尽管气体十分稀薄，那是物质，它的量或许比地球上的物质的量要大上百万倍。那里有氢、氧、氮，也许还有铁、钙和其他元素。温度比较低些的恒星上的物质也许更接近液态，更像高炉里沸腾的铁水。有些老的，相对地比较冷的恒星上的物质也许收缩得十分紧密，一个立方厘米的物质就有100千克重。这样的恒星称为死星或者暗星。

天体物理学家是用分光镜确定上述事实的。依靠这些仪器可以从恒星发出的光测得它的组成物质和它的温度高低(见：**光谱和分光镜**)。对于那些不发光的死星天文学家又是怎样进行探索的呢？观测了一些死星是因为它们靠近亮星，万有引力使这两颗靠近的星互相围绕着运动，通过亮星的运动就可以确定暗星的性质。

有些双星中的暗星有规律地在亮星前面旋转，遮掩了亮星的光。这样的一对双星叫做变星，或者食双星。有些暗星发出人们可以拍摄到的红外辐射。

恒星的数量

天文学家只能大致估计宇宙中恒星的数量。一种方法是测定已知数量的恒星发出的光和其他作用的量，拿它来与整个天空的作用进行比较。有些天文学家说，单是银河



与恒星X的距离可以从图中表明的它在6个月里的位置的变化测得。从位置的变化得出角A。根据角A和已知的穿过地球轨道的距离可以计算出地球与恒星X的距离。

自身就含有恒星1000亿颗以上，而银河里的恒星只是离我们最近的那些恒星。这些恒星集结到一起成为一个巨大的星团，称为星系。离得远一些的还有估计多达几十亿的其他星系（有时称为河外星系）。如果对银河里的恒星数量的估计接近事实的话，那么恒星的总数一定大得不可思议。

恒星的距离

天文学家用光年来测量地球与恒星之间的惊人遥远的距离。（光的速度是每秒299 792千米，一个光年是光在一年中所走的距离。）离我们最近的可以看得见的恒星是在南半球见到的南门二，亦即半人马座星α星。它距离地球$4\frac{1}{3}$光年。半人马星座还有一个小一些的，也许近一些的只能通过望远镜才看得见的半人马比邻星。其他不计其数的星系和恒星被认为分布在大约100万光年以外的空间。

多数的恒星离我们那么远，即使我们从2.99亿千米以外的地球轨道的对面的某一点上看过去，也看不出它们的位置有什么变化。在用望远镜观测的时候，有些近一些的恒星在与它们相邻近的星旁边稍微有些移动。这种移动称为恒星的周年视差。可以通过它来求得邻近太阳系的恒星的距离。（前图中所示角A是在地球的两个位置形成的角，而那个恒星没有大到可以用恒星视差方法来测定它的距离。）德国的天文学家弗里德里克·W.贝塞耳于1838年首先完成正确的视差测定距离。

恒星的运动

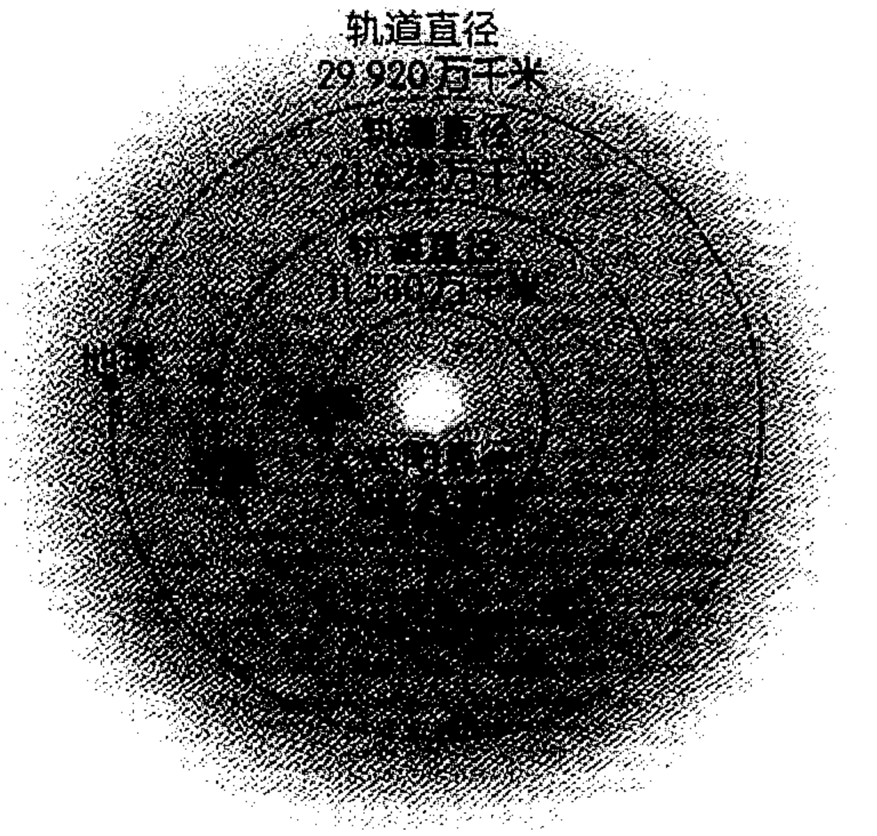
如果我们观看恒星，然后过个把小时再观看它们，我们会看到除了北极星之外，天空里其他所有的恒星全都改变了位置。这样的变化是地球绕自己的轴自转造成的。恒星看起来似乎从东向西转过天空，因为它们下方的地球在从西往东转动。另外，恒星之间似乎总是保持同样的位置（除视差运动外）。古人因此相信多数恒星的位置是固定的。他们只能看见几个称为行星的明亮的星在移动位置。如果哥伦布今天还活着，他会看到从他到达新大陆那天起，恒星的位置差不多没有发生什么改变。

然而，精密的试验表明，恒星是以惊人的速度运动着的。我们的太阳和太阳系在空间以大约每秒19千米的速度向着武仙星座方向运动。测定恒星的运动，要对照星空总背景或者说天球，并且校正受太阳系运动影响的视运动。测定的结果就是恒星的自行。

一些重要的恒星

最亮的恒星是天狼星。它比我们的太阳大3倍还多；离我们大约9光年。3月初在南天看得最清楚。

1844年贝塞耳声称天狼星有一个看不见的伴星，约为天狼星的一半大小，这一对恒星约以每秒580千米的速度冲向地球。贝塞耳的望远镜放大率不够高，不能把它们分开；美国人阿尔万·G.克拉克用他自己制造的望远镜发现了这颗伴星。



猎户座左肩的参宿四，亦即猎户座α的大小总在变。最初测得的它的直径约为4.18亿千米，表明它大到差不多可以覆盖太阳系火星的轨道。

天狼星的伴星没有遮掩天狼星射向地球的光亮。英仙座的亮星大陵五是一个食双星。在大约两天半的时间里、大陵五的亮度几乎赶上北极星。然后伴星突然来到大陵五与地球之间，大陵五的亮度大约减弱到原来的三分之一，这一状态大约维持几个小时。今天天文学家已经知道50对以上的食变星或者食双星。已经观测到的双星有13 000对以上。

因为食而引起的亮度变化不同于闪烁。所有的星都会闪烁，因为大气条件的变化改变了星光的折射，因此改变了星的亮度。

对航行者来说，最重要的星莫过于北极星。它算不上最明亮的星，因为它在极远的的远方（大约680光年距离）。放大率高的望远镜表明北极星实际上是3颗星组成的。

星等和恒星的大小

恒星一般是按照星的亮度的等级——星等分类的。一等星有20颗最亮的星。它们是：天狼（大犬座α）、老人（船底座α）、南门二（半人马座α）、织女一（天琴座α）、五车二（御夫座α）、大角（牧夫座α）、参宿七（猎户座β）、南河三（小犬座α）、水委一（波江座α）、半人马座β、参宿四（猎户座α）、河鼓二（天鹰座α）、十字架二（南十字座α）、毕宿五（金牛座α）、北河三（双子座β）、角宿一（室女座α）、心宿二（天蝎座α）、北落师门（南鱼座α）、天津四（天鹅座α）、轩辕十四（狮子座α）。二等星有50颗，其中包括北极星和两颗指极星。三等星有160颗；四等500颗；五等1 500颗；六等4 000颗。多数人的肉眼看不到亮度低于六等的星。随星等数值增大，星的数量以巨大的幅度增加。可以通过望远镜看到恒星，拍摄它们的照片。

不能只凭星等弄清楚恒星的距离，因为恒星的星等取

决于恒星的大小和亮度两者，而一切恒星都离得那么遥远，在望远镜里看起来它们都只是点光源。不可能通过测量望远镜里的像判断它的大小。然而天文学家可以观测邻近的亮星的直径。如果把一张有两个平行狭缝的平板放在望远镜的物镜上，通过狭缝获得的星像，因为光的干涉上面有亮和暗的条纹(见：光)。如果移开狭缝，条纹就会消失。为了使条纹消失，两条狭缝需要分开多大的距离，取决于这颗恒星与我们之间的距离和这颗恒星的直径。

参宿四离我们有520光年远。它是用恒星干涉仪测定的第一颗恒星(见：**迈克耳孙**)。1920年威尔逊山天文台的天文学家测定参宿四的直径为4.18亿千米，或者说是太阳的300倍。距离更远的恒星的大小是根据它们的光来估算的。

恒星的年龄分类

天文学家发现恒星的大小在相当大的程度上取决于这个恒星是处于新生、成熟、衰老或死亡中的哪一个阶段。恒星在经历这一系列演化阶段的时候，它的化学元素和热相互作用，因此产生颜色和亮度连续的变化。关于这些特征的观察显示每个恒星处于它生活史的哪一个阶段。(天文学观测恒星亮度的时候，将它与太阳对照，设想在同样距离看这两个天体时太阳将有多亮。)

根据观测得到的事实分类编制的表称为德雷伯星表。温度是按开尔文温标(摄氏温标，以绝对零度为基点温度)测算的。表示恒星各型的字母是根据近年的知识对早先的表示法重新整理的。恒星的各型如下：

类型	温度范围(K)	类型	温度范围(K)
O	100 000—30 000	K	4 900—3 350
B	25 000—12 000	M	3 400—2 600
A	11 000—8 000	R*	4 500—2 000
F	7 800—6 200	N*	4 500—2 000
G	6 000—4 600	S	低于2 000

* R和N型恒星可以合起来成为“碳型”(C)

O型恒星如参宿四、参宿七、天津四和心宿二称为超巨星。它们是非常大的气体云。引力作用使它们收缩，产生大量辐射能，使它们成为最明亮的星。B型恒星如大角是巨星。它们也是正在收缩的星。

多数恒星属于从A型到K型星的主星序。它们主要由氢和氦组成，另外还有零散分布的重元素。它们的密度很大，因此内部的温度极高，使氢聚变为氦。这一变化产生的大量能量足以维持它的热度和亮度。这种过程和我们的太阳是一样的。太阳就是一颗G型的恒星。处于这个序列末端的恒星，温度已经大大降低，低到可以形成分子。所以R型和N型恒星有碳，S型恒星有氧化锆。

恒星的核燃料耗尽以后，最终转变成为矮星类型。它的原子的电子从核剥离，全部粒子都从核剥离，粒子紧紧地集结在一起。这种简并态的物质的密度很大，1立方厘米



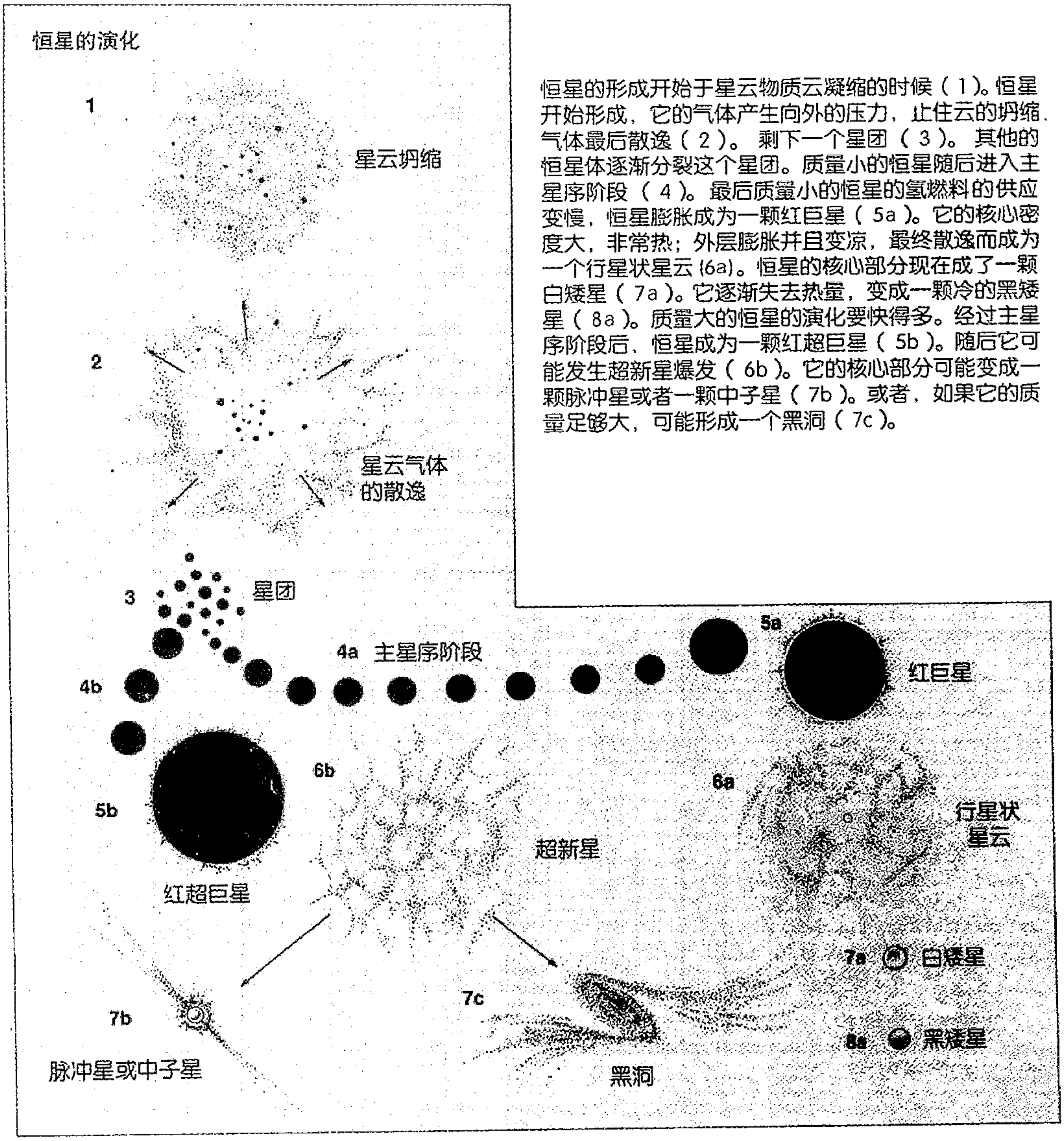
任何晴朗的夜晚都能看到银河。银河由彼此分离的星团组成，它们数量那么大，离得又那么远，以至看起来就像一条云带。这幅图显示北方冬季显现于北天极与南天极之间的一段银河。

的这种物质可以重达几十吨。在短的天文学距离内可以见到矮星辐射的光亮。有些矮星发白光，例如天狼星的伴星；有些矮星射出红光。

恒星群集的星系

晴朗夜空里的银河像一条模糊的乳白色亮带，大致南北走向地横穿天空。实际上这条带是无数颗恒星形成的一个星团，称为星系。我们的太阳所在的这个星系称为银河系。我们的太阳只不过是其中的一颗恒星。整个银河系的形状像一个透镜，它的中心朝着人马座的方向，距离地球约33 000光年。银河系中心的厚度大约是15 000光年，从一边到另一边大约是100 000光年。

银河系里的恒星数超出1 000亿颗。放大率高的望远镜可以见到另外还有几百亿个其他的星系，分布在平均100万光年距离的空间。最近的是仙女座的仙女星系。它的形状像一个大的玩具风车，绕着自己的轴旋转。我们的星系也这样，太阳每转一圈大约要2亿年。



恒星的形成开始于星云物质云凝缩的时候（1）。恒星开始形成，它的气体产生向外的压力，止住云的坍缩、气体最后散逸（2）。剩下一个星团（3）。其他的恒星体逐渐分裂这个星团。质量小的恒星随后进入主星序阶段（4）。最后质量小的恒星的氢燃料的供应变慢，恒星膨胀成为一颗红巨星（5a）。它的核心密度大，非常热；外层膨胀并且变凉，最终散逸而成为一个行星状星云(6a)。恒星的核心部分现在成了一颗白矮星（7a）。它逐渐失去热量，变成一颗冷的黑矮星（8a）。质量大的恒星的演化要快得多。经过主星序阶段后，恒星成为一颗红超巨星（5b）。随后它可能发生超新星爆发（6b）。它的核心部分可能变成一颗脉冲星或者一颗中子星（7b）。或者，如果它的质量足够大，可能形成一个黑洞（7c）。

类星体——类似恒星的天体

20世纪60年代初天文学家发现和确认了一种类似恒星的天体。这种天体被命名为类星体，或者类星射电源。类星体发射强烈的光和射电辐射，它们的质量比太阳大几百万倍。它们离地球几十亿光年远，并且正以不可思议的速度向远方飞去。

一种学说认为类星体有一个产生热核能的核。它激发环绕它的两个云状层。可以看得见的内层是发光气体，或者说等离子体。外层含有电子，它循螺旋线通过类星体的磁场，并且发出射电信号。

类似类星体但是并不发出射电辐射的天体称为类星蓝星系或蓝星体(BSO)。它们的数量比类星体多500多倍，比普通的星系亮100倍。天文学家认为蓝星体也许是已经不再发出射电辐射的年老的类星体，是处于演化早期阶段的星系。

恒星的诞生

氢和尘埃微粒组成的致密的星际云因为自身的引力作用而向内坍缩的时候，开始形成恒星。这种引力收缩使星际云的密度增大，内部温度增高。高温使尘埃粒子汽化。云的中心的气体开始产生向外的压力，使坍缩停止。在云的中心部分开始形成恒星。随着恒星开始辐射从引力收缩产生的能，它们的气体向外散逸，留下一个星团。

随着恒星内部温度的增高，氘(重氢)被破坏，接着来的是锂、铍及硼的衰变成为氦。恒星核心部分温度继续增高，一直到开始核聚变反应的临界温度。一旦恒星核心开始聚变，收缩随之停止，恒星开始以极快的速率利用它的氢，主要把它转变为氦。在这个主星序阶段里，恒星向它自己的壳层和周围的空间辐射极大数量的能量。

恒星的衰老

恒星演化的后期阶段在很大的程度上取决于它的质量大小以及它是不是双星的一部分。一般说来，恒星到达主星序阶段以后，它将以两种方式中的一种继续演化。

中等质量或小质量恒星 质量小于太阳1.4倍的单星将在主星序阶段经历很长的时间。恒星的化学成分将随时间推移而发生变化。核心氢聚变为氦，中心温度缓慢升高。

伴随着成分的改变，恒星的结构、大小和发光度都发生了变化。当主星序阶段结束的时候，核心全部氢都已经耗尽，中心部分几乎全部是惰性氦。在核心周围的薄壳上开始产生能量。核心逐渐增大质量，但却缩小体积，因为通过燃烧着氢的壳不断向中心送来越来越多的惰性元素。由于恒星的外层膨胀并且变凉，恒星变成红色。与此同时，核心收缩产生的能量加热了氢，增加了这颗恒星的发光度。这个时候恒星处于第一个红巨星阶段。

红巨星的结构复杂，在它的不同深度进行着不同类型的核反应。在核心密度变大温度变高的同时，外层向外散逸、变冷，最后形成环绕恒星的行星状星云。行星状星云的物质终于散失，留下的核的温度下降，成为一颗白矮星。

它们被称为白矮星，是因为最早发现的几颗白矮星的颜色是白的。它们的特征是发光度低，质量与太阳相似，半径接近地球。因为它们的质量大，体积小，这类密度大的致密天体的平均密度差不多是水的密度的100万倍。一颗典型的白矮星的中心部分是碳与氧的混合物组成的。核心外边是一薄的氦包层，在多数情况下是比这还薄的一层氢。天文学家能直接观察到的仅仅是白矮星的最外层。

因为白矮星已经耗尽它们的核燃料，它们没有剩余核能源。当它们的热能源也枯竭了的时候，也就是说，在这颗恒星已经变冷了的时候，白矮星停止辐射，成为一个冷的惰性的恒星残骸，有的时候称之为黑矮星。

偶然可以在双星系统里发现白矮星。双星的两颗星互相贴近地绕着转。在有些情况下，红巨星膨胀进入白矮星的引力范围。白矮星的引力场很强，红巨星外层大气里的富氢物质被引向较小的恒星。在大量富氢物质聚集到白矮星表面的时候会发生核爆炸，引起表面热气体的喷射。在短暂而猛烈的爆发中这种反应产生的能量吹散了聚集的物质，使白矮星成为一颗新星。新星的爆发使两颗恒星分开，使物质转移中断，一直到相当长时间以后，两颗星才重新彼此靠近。

新星爆发使白矮星原先微弱的发光度暂时增高至少几千倍，有的时候可以高出正常水平10万倍。一颗新星可以强烈地亮几天，偶然也会亮几个星期，然后逐渐回复到它原来的白矮星的状态。变成新星的恒星在爆发之前几乎总是很暗的，肉眼是看不见的。然而因为它们的发光度突然增高，有时候高到足以使人们不难在夜空里看见它们。对观察者说来，这些天体似乎是一些新的星，所以它们被称做新星。

大质量恒星 对于质量大于太阳5倍的单星说来，事件的序列进行得比较快。这些恒星在它们耗尽自身的氢源之后，能够继续不断地通过聚变产生能。这是因为它们的引力潜能使它们可以在自身内部深处造成极高的压力。这样，它们可以在自己的核心连续产生像铁这样重的元素。在度过主星序阶段之后，这样的星成为红超巨星。人们认为包括铁聚变在内的这些反应导致恒星核心的灾变坍缩。在超新星爆发过程中，大质量恒星的外层迅猛地抛出物质。

与新星的爆发不同，超新星爆发对于一颗恒星来说是一件灾变性事件——是本质上终止它活动(产生能量)寿命的灾变。在几个月的时间内，超新星可能比一颗普通的恒星亮100亿倍。超新星不多见，在一个像我们的银河系这样规模的星系里，大约一个世纪才出现一次。

超新星 1987A

大约四个世纪以来，肉眼看到的第一颗超新星发现于1987年2月24日。它被命名为超新星1987A(SN 1987A)，是智利的一位天文学家和新西兰的一位天文爱好者几乎同时发现的。超新星1987A只能在南半球看到，位于银河系的伴星系大麦哲伦云中。这是第一颗亮度足够让天文学家运用现代仪器来分析研究它的细节的超新星。

开始观察超新星1987A的时候，它的星等已经达到接

近肉眼可见的必要的水平。它非常明亮，所以事实上从电磁波谱的射电、红外线、可见光、紫外线、X 射线和 γ 射线等的每个波长对它进行了研究。爆发的最初的日子里还伴随有射电波的爆发。它的紫外线发射迅速降低，表明抛出物的膨胀壳层的迅速冷却。随后的观察发现在远离超新星的地方存在另外一个物质壳，据推测那是恒星最后死亡以前失去的物质。

科学家们确认了超新星 1987A 的前身是颗超巨星，它在爆发以前的质量可能是太阳质量的 20 倍。在美国和日本地下深处的探测器记录了原来的星的核心坍缩以后产生的中微子——没有质量，不带电，与其他物质的相互作用微弱的粒子——的爆发。中微子以光速运动，正好赶在以光学方法观测到超新星 1987A 之前到达地球。

在超新星 1987A 以前已经知道有记录的超新星现象只有 7 起。最著名的那次发生于 1054 年。那是中国和朝鲜的观察者记录的。罗克的画提示可能当时居住在美国西南部的美洲印第安人也看见过那颗星。它很亮，白天都能看见，它的光辉持续了几个星期之久。此外，1572 年和 1604 年也观察了其他的超新星。

中子星、脉冲星和黑洞

超新星爆发之后，它的核心可能留下来成为中子星。这种类型的恒星由紧密聚集的中子组成，它的密度比太阳大许多倍，但是它的直径只有 19 千米-48 千米。一颗中子星可以看做是一个由自身引力聚集在一起的巨大的原子核。许多中子星以很有规律的周期发射短脉冲射电波。这种恒星天体通常称为脉冲星，一般认为它是自转着的中子星。（参见：**脉冲星**）

如果超新星的遗迹物质大于太阳质量 2－3 倍，就不可能形成中子星。这时超新星内部继续坍缩，最后形成黑洞。黑洞是具有十分强大的引力场的天体，无论什么形式的物质或能量，甚至光，都不能逃离它。（参见：**黑洞；类星体**）

超新星　SUPERNOVA　见：恒星

脉冲星　PULSAR

1967 年，英国剑桥的卡文迪什实验室的两位天体物理学家偶然观察到完全出乎意外的现象。他们的射电望远镜收到能量的短脉冲。首先，排除了人为的一些无线电干扰，发现这类脉冲按一定的周期重复出现，很像宇宙空间滴答滴答的射电钟。这是称为脉冲射电星的一群特殊天体的最初发现。这些天体发射极规则的射电波脉冲，少数也发射短的、按节奏爆发的可见光、X 射线和 γ 射线（见：**辐射**）。这些天体被认为是快速自转的中子星——几乎全部由中子组成的致密天体，它的直径只有或小于 10 千米。

当剧烈爆发恒星的核心引起超新星向内坍缩并受压，就形成中子星。中子星表面上的中子衰变为质子和电子（见：物质）。当这些带电粒子从表面上释放出来，它们就进入环绕恒星的强磁场，并在磁场内转动。加速到速率接近光速时，这些粒子就发出电磁辐射。辐射是以从脉冲星的磁极射出的强束流形式释放。由于这些磁极并不和脉冲星的自转极重合，脉冲星的自转使辐射流来回晃动。在每一周自转中，束流有规则地扫过地球，此时地面上的射电望远镜就能观察到均匀间隔的脉冲系列。这些脉冲星就像星际的灯塔。

虽然已经发现的全部脉冲星的表现都相似，但它们的脉冲周期的长度，即相继的两个脉冲的时间间隔有很大差别。至今观察到脉冲星的最长的周期约为 4 秒。周期最短的 1982 年发现的“毫秒脉冲星”，它的周期只有 1.55 毫秒或 0.00155 秒，这比一切已知的其他脉冲星的周期都短。已经确定这颗毫秒脉冲星每秒自旋 642 转。这已接近脉冲星转速的理论极限值，因为中子星每秒再多转几圈，它的赤道上的物质将因离心力而飞散了。

对射电脉冲星的细致计时显示，脉冲周期的变化非常慢，典型的变慢率为每年百万分之一秒，虽然较老的射电脉冲星比年轻的变慢率更小一些。约在 1 000 万年后，脉冲星就要停发脉冲，那时候它们的磁场也相当地弱了。

自从 1967 年的最初发现后，已经发现 300 多颗脉冲星。科学家估计，单就银河系而言，约有总数为 100 万的活动中的脉冲星。有证据认为每 10 年出生一个新脉冲星，但这个出生率比超新星的出现率超出 5 倍，普遍认为超新星产生中子星，这个矛盾仍无法解释。（参见：**天文学；恒星**）

类星体　QUASAR

自从 20 世纪 60 年代早期天文学家发现类星体和类星射电源后，他们一直感到困惑。现在已普遍认为类星体是遥远星系的高亮度的核心。但至今仍没有搞清楚类星体如何产生如此巨大的能量。它们的亮度高达星系平均亮度的 1 000 倍。

发现

在 20 世纪 60 年代中，当天文学家将他们的望远镜对准新近发现的射电信号源，看到了淡淡的类星的天体。这些天体就如射电源那样给与星表名称，如 3C48、3C147、和 3C273，并被称为类星天体，后来英文缩写为 QSOs 或 quasars。

对类星体的深入研究受到下述事实的阻碍，即这些新型天体的光谱是未被证认的。（这里的光谱是指由于光和其他电磁波通过棱镜后分离成的颜色和暗线的花样。辐射源的成分通常可通过它的光谱确定。）

1963 年荷裔美国天文学家马滕·施米特证认了在可见光范围内的类星体 3C273 的谱线出现在波长更长的可见光范围内——即所谓红移。犹如人们听到的列车汽笛声在列车远去时，频率变低，即声波的波长增加了，所以，相对观察者退行的天体的光谱要产生红移，即电磁波的波长增大。

遥远星系和类星体几乎全有红移，因此按照哈勃的宇宙膨胀定律，这些类星体离地球而远去。

性质

从类星体红移的大小，可以计算出它离地球的距离和退行的速率。这类计算显示，许多类星体的退行速率接近光速，它们离地球的距离是巨大的。有一些似乎在140亿光年之外，它们如此之远，可以标志已知宇宙的范围。

类星体的大小相对来说被认为是小的，直径约为一到两光年。令人吃惊的是它的发光度大致是通常星系的10到1 000倍。类星体发射巨大能量的X射线、紫外线、射电波和其他形式的电磁辐射。

对于如何产生数量如此庞大的功率，还没有天文学家普遍同意的解释，但不乏理论。许多研究家推论，中心能源可能在盘旋进入一个巨大质量的黑洞——塌缩星的气体中有其来源。这个塌缩星有这样巨大的引力，以至连光也不能逃离。（见：黑洞）

类星体和星系

现在天文学家认为可能较接近的理论是类星体不是一独立型的天体，例如彗星那样。它们更像星系的光亮的核心。1943年，卡尔·塞弗特证认一种旋涡状星系，它们有一个小而极亮的核和反常的光谱。一些天文学家认为这些星系是接近地球的类星体，而其他类星体可能是遥远的塞弗特星系的可看见的核。1981年，研究人员宣称，多种类星体——包括3C48、3C273和另外三个类星体——实际上包含在或就是星系的核。虽然这个发现是很有意义的，但它仍没有澄清极亮的类星体或塞弗特星系如何产生它们的极大的辐射功率。

也曾经假设类星体可能代表星系演化的早期阶段。马滕·施米特通过对已知类星体红移的研究，已经发现从宇宙学标准来看，大部分类星体可能在"大爆炸"（即宇宙起动）后不久就形成了。根据这个理论，这些亮度千倍于正常星系的第一批类星体已经死亡，虽然它们的光还可见到。甚至我们熟悉的许多星系可能代表类星体的发展阶段。（参见：天文学；宇宙学）

黑洞 BLACK HOLE

科学家相信在宇宙空间的一些区域有如此巨大的引力把过于接近它的任何物质都吸进去，它们的作用就像巨大的吸尘器。这些物质——不论是彗星、行星或者一团气体云——将被压缩到无限大的密度，从此永远不见了。引力如此强大，它牵曳时间和空间，把时间拖慢了，把空间伸展了。甚至光也不能逃脱强烈的引力牵曳，所以黑洞保留黑色并且是看不见的。美国物理学家约翰·惠勒将这些黑的狼吞虎咽的区域命名为黑洞。

黑洞似乎更像科学幻想而不像真实。事实上，黑洞概念是理论物理学家幻想的产物，真实的黑洞至今也没有被结论性的发现所证实。但从1915年爱因斯坦发展他的相对论之后，科学家已经认为黑洞有可能存在。它将夺取光的全部能量，用捕捉行星大气的同样方式捕捉光。引力要达到这样强度，引力源必须是一个极致密的天体、一个质量很大而又压缩到很小空间内的天体。1916年，德国天文学家卡尔·史瓦西计算出如何压缩恒星使它的引力能捕捉住光。根据史瓦西的计算，像太阳大小的恒星——直径为1 392 000千米——将缩到直径小于3千米。

1939年，美国物理学家尤里乌斯·罗伯特·奥本海默和哈特兰·S.斯奈德发现比太阳大得多的恒星可能变得这样小。在恒星的大部分生命期间，它的大小保持不变，因为在它的内部存在力的平衡：燃烧核燃料产生的热使恒星向外膨胀，而引力拉恒星向内收缩。最后，约几十亿年，恒星耗尽了它的核燃料并因它本身的引力而坍缩。奥本海默和斯奈德证明如果恒星的质量是太阳的3.2倍，坍缩就不可阻止。

科学家相信地球所在的银河系内可能隐藏着多达1亿个由恒星坍缩而留下的黑洞。1990年在新墨西哥的甚大阵射电望远镜取得了银河系中心的细像，显示从中心发出惊人的能量爆发。一些科学家相信这将确认在银河中心存在质量为太阳400万倍的黑洞。科学家利用哈勃空间望远镜于1992年发现在附近的一个星系中有存在质量为太阳300万倍的黑洞的有指望的迹象。

因为黑洞是看不见的，天文学家利用它们的效应以确定它们的位置。物质向黑洞中心旋进时将快速地发射可察觉的X射线脉冲。1965年，天文学家观察到来自1万光年外的天鹅星座的强X射线。1971年，全球第一颗X射线人造卫星极精确地确定这些X射线源的准确位置。它是一个看不见的大质量天体，天文学家命名它为天鹅座X-1。天鹅座X-1可能证明为第一个确认的黑洞。

星系 GALAXY 见：天文学

宇宙线 COSMIC RAYS 见：辐射

宇宙学 COSMOLOGY

天文学家和物理学家联手致力于了解宇宙的起源、演化和最终命运，即是宇宙学的范畴。现代宇宙学的时期始于1905年物理学家爱因斯坦的狭义相对论的问世。在此之前，都认为空间和时间是彼此分开而无联系的。狭义相对论指出，空间和时间应是一个整体，即"时-空"的两个表现形式。发表于1916年的爱因斯坦广义相对论，以时-空和相关时-空的词汇把引力和宇宙中物质分布联系起来。以广义相对论为依据，已有了关于宇宙的结构、演化和最终命运的现代概念。（见：相对论）

今日已有强有力的证据表明宇宙是均匀一致的。例如像物质平均密度那样的基本性质（即在一个给定的、很大空

间体积内的质量）并非处处迥异。与此类似，宇宙还是各向同性的，即一位观测者所看到的宇宙特性，与他或她在宇宙中所看的方向无关。

一经将均匀一致和各向同性的概念，应用于与时-空结构和物质分布相关的爱因斯坦方程式，发现宇宙必然是动态的：它要么膨胀，要么收缩。爱因斯坦方程式要求，宇宙中的物质分布或早或晚均将保持均匀一致，但天体之间的距离尺度时时改变。实际上，空间自身在膨胀或收缩。如果宇宙正在膨胀，任意两点之间的距离，将按彼此之间的距离大小成正比地增长。换言之，相距越远的两点，彼此远离得越快。

正如一位铁道旁的听者，随着火车的远去，听到的火车汽笛的音调或频率越来越低那样，一位观测者接收到的一个退行而去的星系之光的频率要比如果星系和观测者二者之间无相对运动的星系之光的频率低。由于可见光的频率向低的方面移动，即朝向电磁波谱波长较长的红端移动，所以这样的变化称为“红移”。膨胀宇宙的理论于 1929 年为美国天文学家埃德温·哈勃证实。他根据遥远星系红移资料的分析指出，星系的确都远离我们银河系而去，退行速度和距离成正比。因此，宇宙在膨胀。

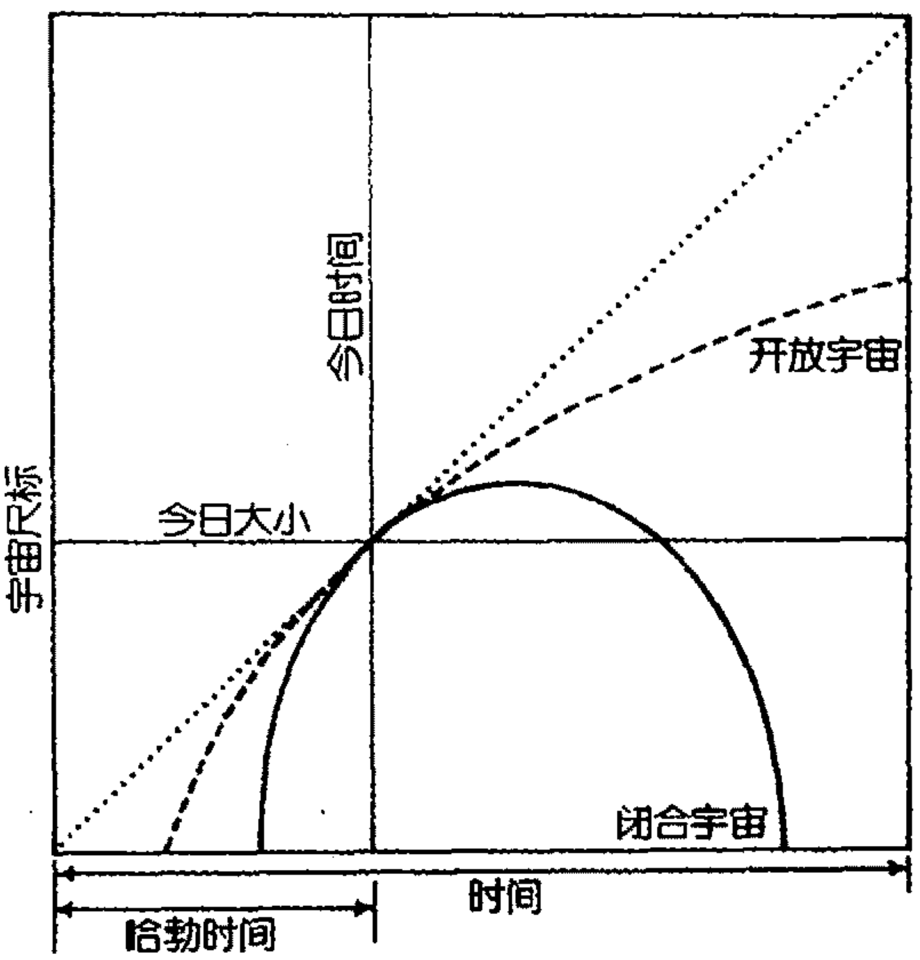
大爆炸

当我们从数学上回溯已往的岁月，就会呈现一个十分惊人的事态。在时间上，越往回溯，宇宙收缩得越小，膨胀的速率越快。实际上，广义相对论指出，约在 100 亿到 200 亿年前，宇宙曾无限地缩小：任意两点之间的距离均为零，物质密度为无限大，整个宇宙的体积为零。按照这一图像的描述，宇宙处于高度的奇异态，它的起源时刻就是所谓的“大爆炸”。

有一种常见的误解，认为物质是在一次爆炸中，从一点突然泄入一个空虚的宇宙之中。情况根本不是这样。在大爆炸之际，不仅不存在物质，也没有时空结构。在大爆炸之际，空间本身压缩为零体积，而在大爆炸之前，并没有什么“以前”。

在第一秒中，即“大爆炸”之后第一秒，宇宙中的物质非常炙热和十分稠密。大量地出现了极端高能的基本粒子，既有稳定的，也有不稳定的。在第一秒之后，宇宙迅速地膨胀并变冷，致使大多数不稳定粒子衰变。在随后的 15 分钟内，出现了核反应。理论表明，在此期间，原始物质中占质量四分之一的质子和中子转变成氦。氦所占的这一份额，和在今日宇宙中观测到的氦丰度，符合得十分一致。在 15 分钟之后，物质的密度和温度都下降，致使核反应终止，直到宇宙演化得很晚之后，当恒星形成之际，才又在恒星内呈现核反应。（参见：恒星）

在上述整个时间内，宇宙各处的物质都在吸收和发射电磁辐射，同时，在此早期宇宙中，充满着一种物质和辐射混合均匀的“汤”。正像一个炙热物体发射的热辐射的颜色或频率，与它的温度协同一致一样，上述的宇宙辐射的频率



自从大爆炸以来，如果宇宙今日的膨胀速率（点线）一直保持不变，哈勃时间即是宇宙的估算年龄。如果今日的膨胀速率较小于早期宇宙的膨胀速率（虚线），则膨胀逐渐变慢，但会永远膨胀下去。假如今日的膨胀速率小于一个临界值，宇宙终将停止膨胀，然后朝大爆炸的反方向收缩，直奔“大碾缩”（实线）。

也和早期宇宙的温度协同一致。随着宇宙的膨胀和冷却，这种原始辐射的频率不断变低，直至现今频率已降低到其所对应的温度仅为绝对温标的零上几度。如果广义相对论预言的大爆炸理论正确，宇宙中就充满着温度极低、均匀一致的电磁辐射海洋。

美国射电天文学家阿诺·A. 彭齐亚斯和罗伯特·伍德罗·威尔逊于 1965 年发现的正是这种“宇宙背景辐射”。随后又确认，这种辐射在各个方向全都一样地到达地球。大爆炸理论曾以最简明的方式预言宇宙背景辐射的存在并计算出它现今的温度，所以它的发现提供了强有力的支持。此外，背景辐射的高度各向同性也为宇宙正像假设的那样均匀一致和各向同性提供了强有力的证据。1992 年，正当诸如稳恒态理论的这类与之抗衡的宇宙学的支持增多，而大爆炸理论的支持减弱之际，大爆炸理论的正确性获得了进一步的证据。“宇宙背景探测者”天文卫星在按一种涟波起伏状态排列的稍微不太稠密的物质带围绕的成束的气体云的微波辐射中，检测出细微的温度差异。这种涟波起伏式的排列被认为正是大爆炸的一个后效应。

根据爱因斯坦方程式，如果宇宙中的物质平均密度等于一个确定的临界值，宇宙则以一个越来越慢的速率膨胀，最终将停止膨胀。如果平均密度低于临界值，宇宙就是开放的，将永远继续膨胀下去。反之，若平均密度高于临界值，宇宙则是闭合的，就是说，它终将停止膨胀并开始收缩，

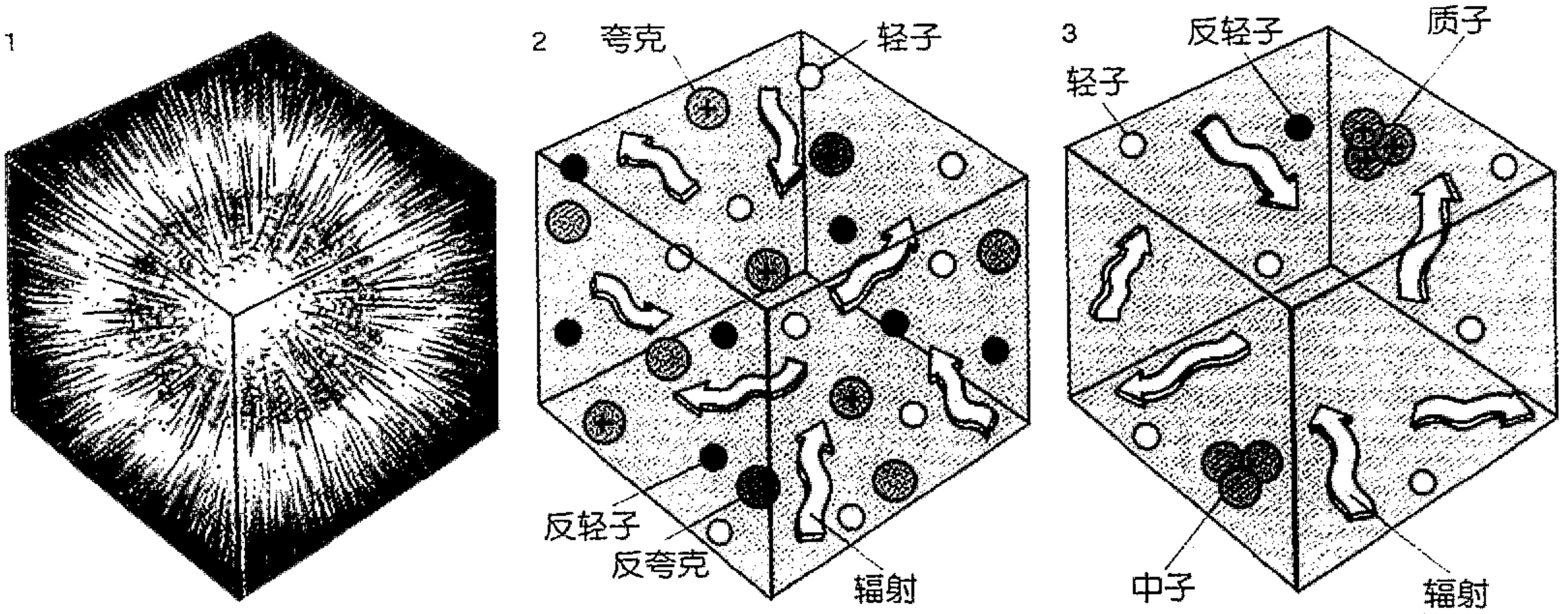
从现在算起，200 亿年之后，在"大碾缩"中回转到大爆炸的起点。因此，现代宇宙学的一项最重要的课题就是测定宇宙是开放的还是闭合的。

应用最常见的估算所有的星系质量的方法，求出的宇宙质量密度仅约为临界密度的$\frac{1}{20}$。这就强烈地意味着，宇宙是开放的。不过，星系际中可能还存在着相当大量的物质。

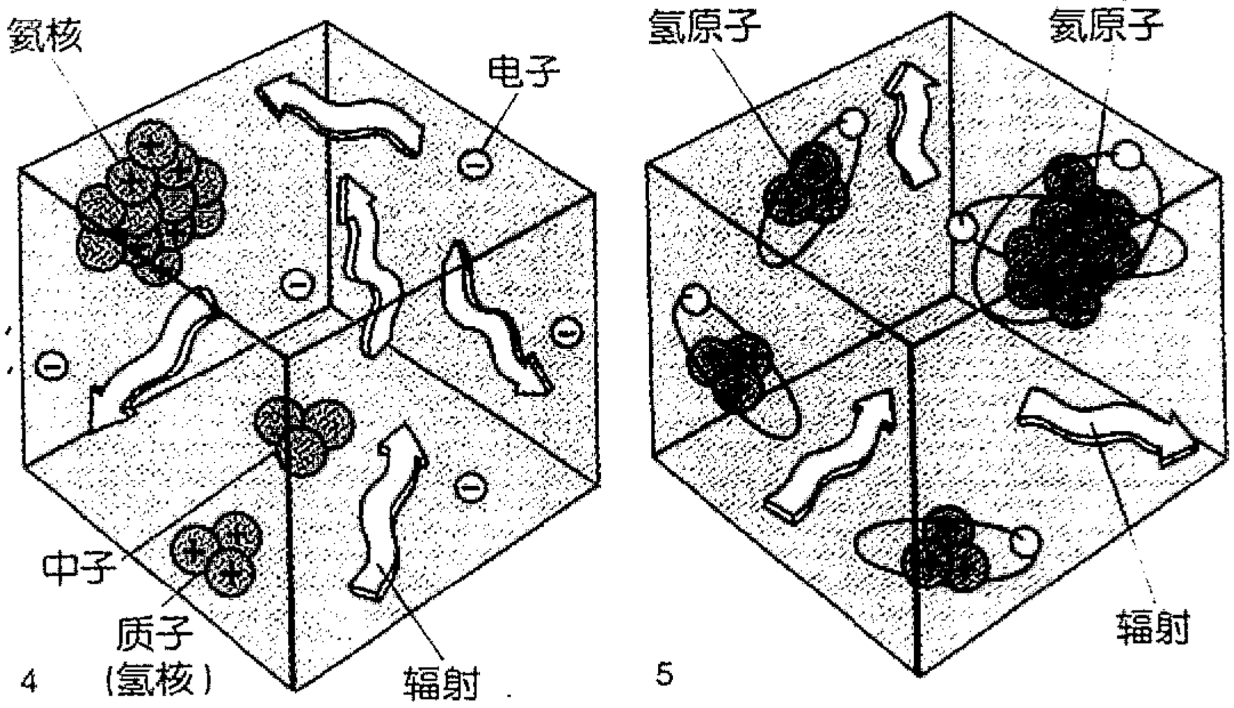
确定宇宙是开放的还是闭合的，第二种方法是测定膨胀的缩减速率。膨胀速度用下列算式表示：

$$v = Hr$$

式中 v 是速度，r 是两点之间的距离，H 是哈勃常数，乃是联系速度和距离的比例数值。虽然无论宇宙是开放的还是闭合的，H 均随时间而减小，但一个闭合宇宙的 H 减小得更快。要量度 H，必需先测量遥远星系的本征亮度。不幸



(1) 大爆炸。(2) 大爆炸之后，宇宙立即充满致密的亚原子粒子"汤"，即所谓的夸克和轻子（例如，电子）以及与它们等量的反粒子。(3) 大爆炸之后 0.01 秒时，一些夸克合并而形成中子和质子（再过 2 秒，轻子中只剩下电子，而反粒子则均已湮灭）。(4) 3.5 秒之后，氢和氦核都已形成。(5) 100 万年之后，宇宙中遍布氢原子和氦原子，它们是形成恒星和星系的原始物质。来自大爆炸的初始辐射的能量递减，这种"宇宙背景辐射"在今日对应的温度为绝对温标零上 3 度即 3K。



的是，一个星系的本征亮度在它演化过程中，很像是有相当大的变化，天文学家的今日所见，可能引起误导。如果真是如此，这类的距离测量方法就失效，至少在天文学家能掌握对星系演化有更好的理解之前，不能测出 H 的减速值。

天文学家用来测定宇宙是开放或闭合的第三种方法是计量宇宙的年龄，即大爆炸以来所历经的时间。假定宇宙膨胀的整个期间均保持今日的膨胀速率，从大爆炸开始之后持续至今的时间总量称为哈勃时间。

可以将哈勃时间视为一个星系在到达现在和我们银河系相处的距离时，所需的时间的一种量度。换言之，它是这两个星系自从彼此分离以来，经历的时间的极大值；或者说，它是宇宙可能有的年龄的极大值。一个宇宙，无论是开放或是闭合，其膨胀速率在过去都比现在高，因此，实际的膨胀时间一定小于哈勃时间。哈勃时间通常用$\frac{1}{H}$表示。爱因斯坦方程式表明，闭合宇宙一定比开放宇宙膨胀得更快。确切地说，如果宇宙的真实年龄小于哈勃时间的$\frac{2}{3}$，宇宙必然是闭合的；反之，宇宙一定是开放的。哈勃时间的$\frac{2}{3}$被称为宇宙的临界年龄。

根据已知的最老的星团的年龄估算，以及长寿命的放射元素的年龄测定，科学家已得出今日宇宙的年龄为 150 亿年的评估值。由于在这种测算中存在很大的误差范围度，上述评估值不能说是确切的。正确的宇宙年龄可能小到 100 亿年，也可能超过 200 亿年。

若要比对宇宙的测算年龄和临界年龄，就必需知道哈勃常数 H 的数值。上面已讨论过如何测定 H 的问题了。宇宙的临界年龄的当前最佳估算值约为 130 亿年。尽管这一数值和宇宙年龄观测值符合得很一致，但是测算年龄和临界年龄的不确定性都很大，不足以得出宇宙开放还是闭合的判断。

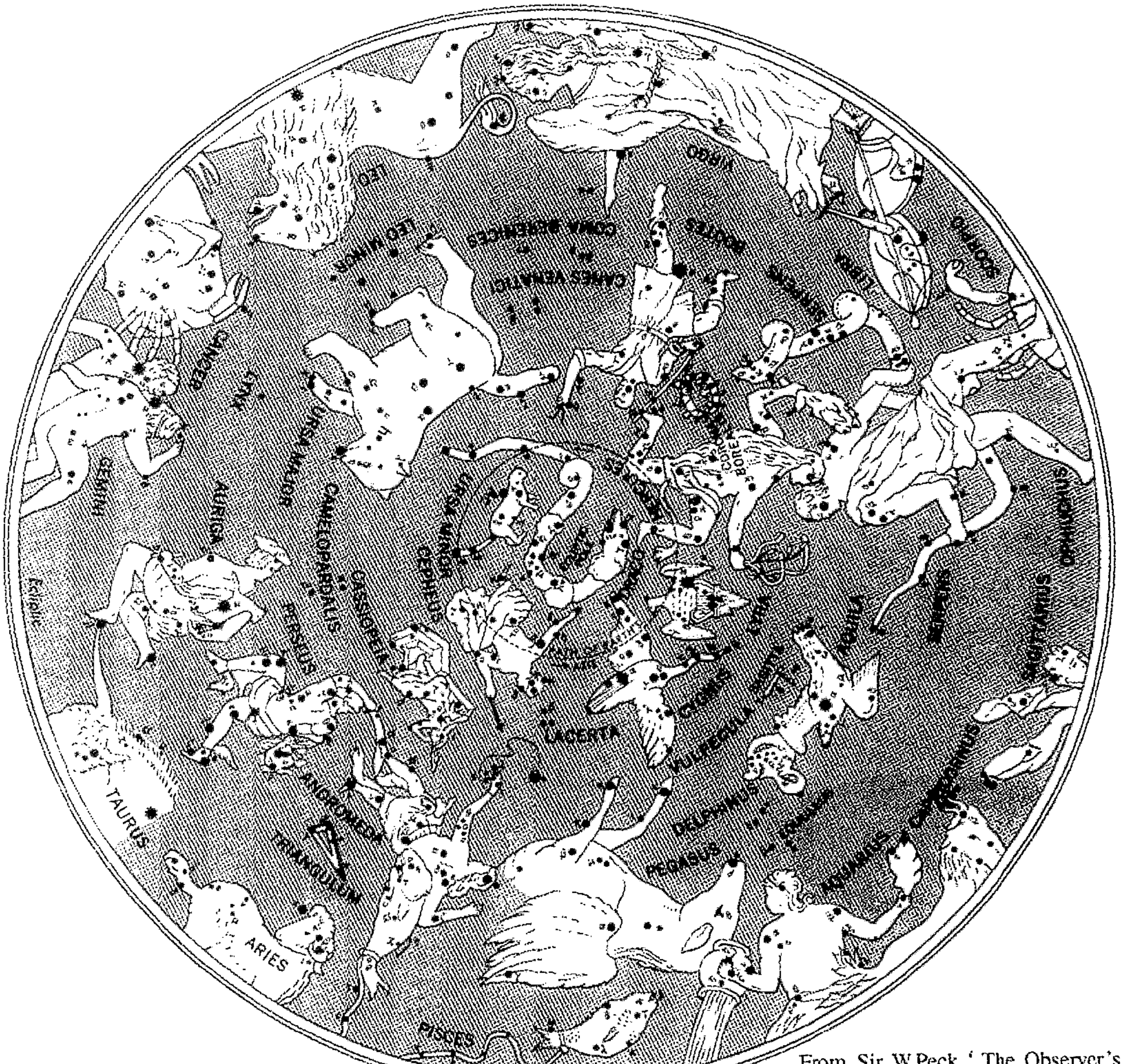
虽然今日的观测证据指向开放宇宙，但在这一问题有确实可信的结论之前，很可能还需要半个世纪的观测资料。

宇宙 UNIVERSE 见：宇宙学

星座 CONSTELLATION

千年万载以来，人们都在星星之间寻找自己熟悉的事物的轮廓。夜晚天空里的这些形象被称为星座。Constellation 这个词来自拉丁语，意思是“星星”和“在一起”。

许多星座的名字非常古老。苏美尔牧羊人和美索不达米亚农民 7 000 年以前可能使用和我们同样的名字来称呼金牛座、白羊座、狮子座和别的许多星座。学历史的人可以肯定这些名称源自美索不达米亚，因为他们选用的动物说明了这一点。如果一些名称最初是埃及人使用的，那么星星的名称里就该有河马或者象。要是起源于古印度，就该有老虎或者鳄鱼。（参见：天文学）



From Sir W.Peck, ‘The Observer's Atlas of the Heavens’, Gall and Inglis

北天星座

星座	符号	中名
Andromeda	And	仙女座
Aquila	Aql	天鹰座
Auriga	Aur	御夫座
Boötes	Boo	牧夫座
Camelopardalis	Cam	鹿豹座
Canes Venatici	CVn	猎犬座
Cassiopeia	Cas	仙后座
Cepheus	Cep	仙王座
Coma Berenices	Com	后发座
Corona Borealis	CrB	北冕座
Cygnus	Cyg	天鹅座
Delphinus	Del	海豚座
Draco	Dra	天龙座
Equuleus	Equ	小马座
Hercules	Her	武仙座
Lacerta	Lac	蝎虎座
Leo Minor	LMi	小狮座
Lynx	Lyn	天猫座
Lyra	Lyr	天琴座
Ophiuchus	Oph	蛇夫座
Pegasus	Peg	飞马座
Perseus	Per	英仙座
Sagitta	Sge	天箭座
Serpens	Ser	巨蛇座
Triangulum	Tri	三角座
Ursa Major	UMa	大熊座
Ursa Minor	UMi	小熊座
Vulpecula	Vul	狐狸座
黄道十二宫*		
Aquarius	Aqr	宝瓶宫
Aries	Ari	白羊宫
Cancer	Cnc	巨蟹宫
Capricornus	Cap	摩羯宫
Gemini	Gem	双子宫
Leo	Leo	狮子宫
Libra	Lib	天秤宫
Pisces	Psc	双鱼宫
Sagittarius	Sgr	人马宫
Scorpio	Sco	天蝎宫
Taurus	Tau	金牛宫
Virgo	Vir	室女宫

*黄道十二宫是指横跨太阳运行路线黄道的 12 个星座，因此在南、北两个半球都能看见它们。

后来的美索不达米亚人接受了古苏美尔人的星座名称，再往后希腊人继续使用这些名称。希腊人还在星座的名单上增加了不少英雄和半神半人的名字。罗马人沿用希腊人的名单，但是把星座的名字译成了拉丁文。

大约在公元 150 年光景，埃及天文学家托勒密在他的著作《天文学大成》里列出了他知道的 48 个星座，他的星座表没有包括整个天空的星座。在星座与星座之间还有空白的地方；而且完全没有南方的星的星座，因为在地中海地区看不见那些星。在以后的几个世纪里，天文学家给托勒密的星座表添加了一些星座。这些后来增加的星座，其中有些是以科学仪器的名字命名的，例如六分仪、罗盘、显微镜。还有一些取了热带地区的鸟类和动物的名字（鹿豹、蝘蜓、杜鹃）。今天天文学家公认的星座总数为 88 个。

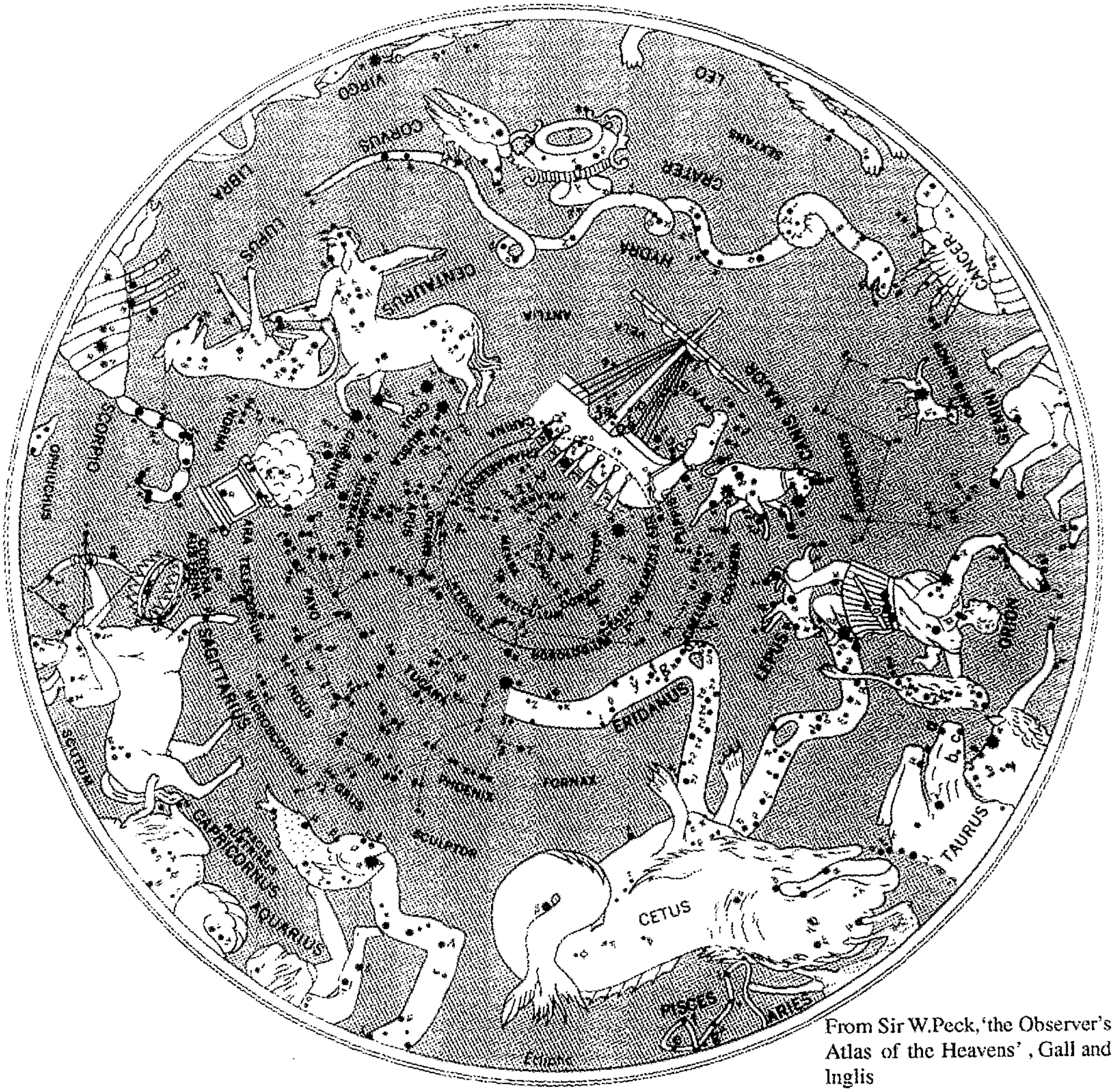
对多数人来说，一个星座是一组明亮的星，但是对于天文学家来说，它是天空中划分出来的一定的区域。因此，无论一颗星多么昏暗，它总是属于这个或者那个星座，正如世界上任何一个地方总是属于这个或那个国家一样。虽然天空中同一个星座里的全部星看起来都互相靠得很近，它们在空间里并不是必然离得那么近的，因为其中有些星比起另外一些星来可能处在空间远得多的地方。星座之间的界线过去很不规则，有许多是曲线。1928 年天文学家改用直线来划分星座，所以全部星座的轮廓都是东西向或南北向的直线。天文学家用星座名称来确认最明亮的恒星和全部变星，因此清楚而精确的界线是很重要的。（见：恒星）

对今天的天文学家说来，星座是很实用的——不是用来与古代传说相联系，而是用来指出在天空的什么地方可以找到什么星。许多最明亮的恒星有自己的名字。这些名字来自希腊文、拉丁文或阿拉伯文。航海或者航空的人使用这些名字称呼它们。然而天文学家认为用星座的名字加上一个希腊字母区别每个星座里的不同的星，这样更加方便。例如北半球的北极星是小熊星座里最亮的恒星，天文学家称它为小熊座 α 星，简称 αUMi。

太阳在恒星之间运行的路径称为黄道。沿着黄道分布的 12 个星座构成黄道带。其他的星座分为黄道以北星座和黄道以南星座。

在地球上某一个地方一年里不同时间看到的星座是不同的。这是因为地球一面绕着自己的轴转动，一面总是绕着太阳转，每年按轨道走一圈。在一年的某一段时间的夜晚里可以看见的某颗恒星，可能 6 个月以后靠近了太阳，到那时候夜晚的天空里就看不见它了。

有些星座只有在北半球才能看得见，有些则只有在南半球才能看得见。黄道带上的星座，在南、北两个半球都能看见。



From Sir W.Peck, 'the Observer's Atlas of the Heavens', Gall and Inglis

南天星座

星座	符号	中名
Antlia	Ant	唧筒座
Apus	Aps	天燕座
Ara	Ara	天坛座
Caelum	Cae	雕具座
Canis Major	CMa	大犬座
Canis Minor	CMi	小犬座
Carina	Car	船底座
Centaurus	Cen	半人马座
Cetus	Cet	鲸鱼座
Chamaeleon	Cha	蝘蜓座
Circinus	Cir	圆规座
Columba	Col	天鸽座
Corona Austrina	CrA	南冕座
Corvus	Crv	乌鸦座
Crater	Crt	巨爵座
Crux	Cru	南十字座

Dorado	Dor	剑鱼座
Eridanus	Eri	波江座
Fornax	For	天炉座
Grus	Gru	天鹤座
Horologium	Hor	时钟座
Hydra	Hya	长蛇座
Hydrus	Hyi	水蛇座
Indus	Ind	印第安座
Lepus	Lep	天兔座
Lupus	Lup	豺狼座
Mensa	Men	山案座
Microscopium	Mic	显微镜座
Monoceros	Mon	麒麟座
Musca	Mus	苍蝇座
Norma	Nor	矩尺座
Octans	Oct	南极座
Orion	Ori	猎户座
Pavo	Pav	孔雀座
Phoenix	Phe	凤凰座
Pictor	Pic	绘架座
Piscis Austrinus	PsA	南鱼座
Puppis	Pup	船尾座
Pyxis	Pyx	罗盘座
Reticulum	Ret	网罟座
Sculptor	Scl	玉夫座
Scutum	Sct	盾牌座
Sextans	Sex	六分仪座
Telescopium	Tel	望远镜座
Triangulum Australe	TrA	南三角座
Tucana	Tuc	杜鹃座
Vela	Vel	船帆座
Volans	Vol	飞鱼座

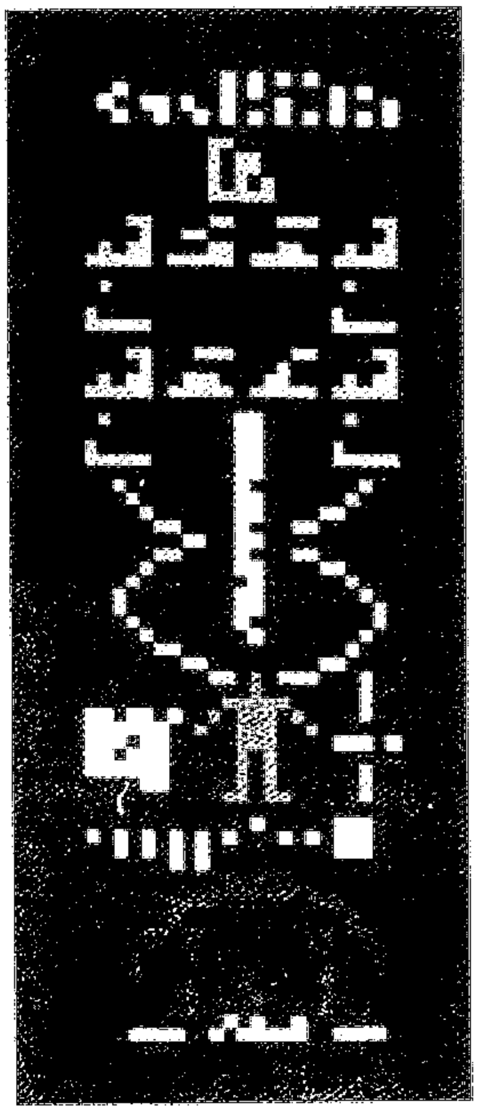
地外生命 EXTRATERRESTRIAL LIFE

探索地球这个行星以外的生命，被称为是一门缺乏论题的科学。尽管科学家们和业余爱好者们奉献了数不清的时日对天空进行搜寻，仍然找不到除地球以外宇宙间还有什么地方有生命存在的任何证据。地外生物学是生物学中的一个分支，它的任务是探索太阳系内地球以外的生命，特别是有理智的生物。地外生物学有时亦称宇宙生物学、天体生物学或行星生物学。

尤里和米勒的实验 一种研究地球以外是否存在生命的途径是设法获得复制地球上最初的生命形式所必需的条件。1953年美国一位研究生S. L. 米勒在化学家哈罗德·C. 尤里的指导下，首次实现了复制不存在生命以前的地球上的原始大气的实验模拟。

实验将甲烷、氨、水蒸气和氢的混合物通过水溶液循环，并且连续不断地使它经受模拟闪电的火花放电。几天以后产生出了氨基酸。氨基酸是当代生命形式的建筑材料。如果不是全部，至少大多数蛋白质、碳水化合物以及核酸这些基本建筑材料都不难在类似的原始条件下产生。

绿库方程 美国天体物理学家F. D. 德雷克设计的绿库方程代表一种对银河系里技术先进的文明的数量进行估计的一种尝试。它以数学方式表达下述数量的联系，恒星的数量，有行星系统的恒星的数量，在每个系统内具备适合生命起源条件的行星的数量，生命确实能够在它上面发展的行星的数量，理智生物能够在它上面演化的行星的数量，能够发展文明、能够进行星际交往的理智生物群体的数量，以及技术文明的平均寿命等等。因为对方程式中各个不同项目有不同的估计，银河系中先进文明的数量估计为1万到100万。



1974年11月16日，"阿雷西博星际信息"，以二进位制代码的射电信号的形式，从设在波多黎各的美国阿雷西博天文台发往大约25 000光年以外的球状星团M13。这信号包含关于地球的1 679比特信息。

星际探测 1975年美国发射"海盗"1号、2号空间探测器，这是无人空间飞行器探测近邻行星的最精巧的应用。这两艘飞船都由环行舱和登陆舱两部分组成。登陆舱装备有摄影机、测震表、岩土取样铲，以及专门设计用来搜寻火星上细菌生命痕迹的生物学实验。两艘飞船连续从火星上传回详细的特

写镜头照片和数据。生物学试验的结果不能得出确定的结论。

占星术　ASTROLOGY　观察天体，推测它对人类生活产生什么样的影响，这种研究称为占星术。人类从文明的开端就怀着惊异和敬畏的心情仰望天空，试图理解太阳、月亮、行星和恒星的性质。古代的美索不达米亚人、埃及人和希腊人以当时极为有限的可以使用的手段，研究他们在天空观察到的有规律的运动。他们进行的计算为天文科学奠定了基础(见：**天文学**)。占星术是一种伪科学，也起源于有关天象对地球上生命的影响的推测。在古代以及随后的许多世纪里，人们没有把占星术与天文学区分开来。

虽然许多人——尤其是天文学家和其他的科学家——认为占星术只不过是一种迷信，但是在上个世纪里还是有众多的追随者的。20 世纪 80 年代，华尔街的许多经纪人雇用了专业占星术士。1981 年 3 月 30 日谋刺美国总统罗纳德·里根事件发生以后，占星术的影响得到广泛的承认。在随后的 7 年里，里根夫人南希向一位加利福尼亚的占星术士咨询总统生活中重要大事的最吉利的时间和日期，这些大事包括诸如总统座机的起飞和降落、发表施政演说、外科手术、条约签字、总统辩论，甚至记者招待会。

占星术士的劝告和预测登载在许多日报上，也在自动售货机出售。每年出版无数有关这个主题的杂志和书籍。多数劝告是以天宫图的形式出现的。这是种复杂的图，它说明天体将对在某个时候出生的人的生活产生什么样的影响。为范围更大的读者印成的简略的劝告是一种更加概括的天宫图。它是按黄道十二宫绘制的。

个人的天宫图(即出生图)是用这个人出生的确切时间所有行星的位置来确定的。占星术士将一年划分为 12 个相等的部分，称为黄道带，它原先是与环绕天空分布的长带上的 12 个星座相符合的(见：**星座**)。这个体系是建立在太阳在一年的时间里通过黄道带上的 12 个星座这样的概念上的。每一个星座被认为是某一个行星的家，虽然有些行星却支配着一个以上的星座。据说每一个行星依照它在天空的位置对人都有或大或小的影响。还据说黄道带上的 12 个宫中的每一个宫都与一个人的某一部位有关系，与古典的希腊四元素——土、空气、火和水有关系。希腊占星术士还将阳性和阴性的属性与每个宫联系起来。

黄道带上的各个部分称为宫，古代占星术士给各个星座取了名字(多数是动物的名字)，并且设计了配合这些名字的抽象的符号。一个人出生的时候，太阳在这 12 个宫中所处的位置就是这个人的太阳宫。如果一个人出生的时候，正巧太阳宫变换位置，从一个宫进入到下一个宫，就说太阳正处在歧点上，于是便具备两个宫的特性。占星术的歧点指的是从某一个宫走出来，或者进入某一个宫的那一个点。



黄道诸宫

宫名	日　期	宫号	元素	支配行星	
白羊宫	3 月 21 日－4 月 19 日	1	火	♂	火星
金牛宫	4 月 20 日－5 月 20 日	2	土	♀	金星
双子宫	5 月 21 日－6 月 21 日	3	空气	☿	水星
巨蟹宫	6 月 22 日－7 月 22 日	4	水	☽	月球
狮子宫	7 月 23 日－8 月 22 日	5	火	☉	太阳
室女宫	8 月 23 日－9 月 22 日	6	土	☿	水星
天秤宫	9 月 23 日－10 月 23 日	7	空气	♀	金星
天蝎宫	10 月 24 日－11 月 21 日	8	水	♂ ♇	火星 冥王星
人马宫	11 月 22 日－12 月 21 日	9	火	♃	木星
摩羯宫	12 月 22 日－1 月 19 日	10	土	♄	土星
宝瓶宫	1 月 20 日－2 月 18 日	11	空气	♅ ♄	天王星 土星
双鱼宫	2 月 19 日－3 月 20 日	12	水	♃ ♆	木星 海王星

除了这些宫以外，所有的天宫图还划分 12 个主宰宫。主宰宫表示人的某些特征或者经历，例如罗曼史、家庭、家族、旅行、死亡、就业、健康和思想。所有的主宰宫都与黄道宫有关，不过黄道宫代表行星的影响，而主宰宫则说是人世间的生活。

占星术今日的实践还是以起源于早期希腊人的信仰系统为基础的。他们的占星术诡辩的一个大错误，在于假定一切行星以及太阳都是环绕地球转的。这种假定一直延续到 16 世纪和 17 世纪哥白尼和伽利略的研究发现太阳是太阳系的中心之前。(参见：**哥白尼**；**伽利略**；**太阳系**)

早期占星术士对行星的影响与上帝的意志二者之间的关系有不同的看法。有些占星术士认为占星术预言的是将要发生而且必定发生的事情，人或者上帝都不可能改变它。(基督教和伊斯兰教为了这个理论与占星术士争论。)态度不太强硬的占星术士则说占星术只预测可能发生的影响。早期基督教占星术士的一个流派认为占星术揭露的是上帝已经计划要做的事情。

在多数很早就有占星术活动的文化中——其中包括埃及、希腊、印度和中国——万物有灵论的宗教系统认为自然界的万物都有生命，它们几乎具有人类的全部特征。这种传统里的占星术完全是占卜的另外一种形式，通过询问自然力的意愿以预言未来。

"你属什么宫?"，这是 20 世纪 70 年代说滥了的一句问话。为了进行立时可得的性格分析，占星术士曾经将明显的人的性格对照每一个宫(爱交际的宝瓶宫、爱挑剔的室女宫)做了验证。许多人仍旧喜欢查看他们的日常天宫图看他们的宫的总的前景。还有些人有自己个人的天宫图，那上面有更加专门的信息，可以帮助他们做出更加聪明的决定。

占星术士通过计算机的帮助，能够在 5 分钟－10 分钟时间内完成一幅天宫图的复杂的数学计算。过去这样的计算要花费几个小时，甚至几天时间。许多职业占星术士为了节省时间和精力，利用计算机来演绎数据。

从来没有人能够证明占星术预言的科学精度。预言的结果因占星术士的解释技巧而不同。这是一种部分来自直觉知识，部分来自训练的技巧。想要界定和衡量这种技巧的企图都没有什么结果。

天文台 OBSERVATORY

1987 年 2 月 24 日晨，智利两个天文台的天文学家看见大麦哲伦云(一个近地球的星系)中有明亮的爆发，这个爆发的恒星后来称为超新星 1987A，标志着自 1604 年以来第一颗肉眼可见的超新星。全世界有数以千计的天文台不断地监测、测量和分析这些天文现象。针对远离地球的各种对象的天文台是最常见的观象台类型。其他观象台称为气象台，是观测天气的。地球物理观象台研究地壳运动。本文专讲天文台。

天文台大至拥有甚大天线阵(VLA)的庞大国立射电天文台，小至数百个天文爱好者的小型天文台。天文台的目的是收集有助于了解宇宙及其各种成分的性质的信息。

各天文台观测过的许多天体中有行星、恒星、彗星、星系、类星体和星云。即使是最简单的天文台，也可以详细地观察其光线要经过数千年以上才能到达地球的恒星。最大和最复杂的天文台日常研究其光线要经过 100 亿年以上才能到达地球的天体。某些专门的天文台甚至可检测某些形式的高能辐射，例如来自大气层以上的 γ 射线和 X 射线。

天文台类型

大多数天文台的设备是为了研究一种专门的天文现象。这种建立在该天文台所使用仪器类型之上的专业化很有必要，因为空间中的天体种类繁多，相互距离遥远，并且它们的亮度等级也不同。

在地球表面上，来自空间的辐射大量被地球大气层吸收、反射或折射。只有可见光和无线电波可到达地面(参见:大气;光)。有两种基本类型的地面天文台利用这种辐射。光学天文台研究来自遥远天体的光，射电天文台则从无线电波搜索信息。

光学天文台 大多数天文台设计用于研究在太阳系以外的深空天体。它们包括恒星及其周围的气体星云。遥远的星系、神秘的类星体和在某些星系中心发生的大爆炸。为了观察这些遥远的天体，必须聚集大量的光线。大多数光学天文台利用大型反射望远镜来解决这个问题，因为他们的反射镜可制造得比折射望远镜中的透镜大得多。

光学天文台装备有其他仪器，可以分析或放大巨大反射望远镜所聚集的光线。其中的一种仪器就是摄谱仪，它可将光线分解为各种颜色组成，使天文学家可确定恒星和星系的组成和运动。

虽然许多天文台仍花费一定的时间借助望远镜曝光长达若干小时来拍摄照片，但是，更多的研究是用一种称为电荷耦合器件(CCD)的电子仪器来进行。这种形式的电视摄像机，比照相底片的光敏性高得多。往往位于天文台若干千米以外的先进计算机系统，也有助于分析和解释由望远镜及其他仪器收集到的影像。专门研究太阳系内的天体，例如行星、卫星和小行星的光学天文台较少。对于这些较近和较亮的天体，高清晰度比聚光能力更宝贵。因此，这些天文台有许多使用折射望远镜。

第三种类型的光学天文台是太阳观测台。因为太阳极为明亮，所以研究这颗离地球最近的恒星的天文台必须拥有可处理极强辐射的仪器。亚利桑那州基特峰国家天文台的罗伯特·R.麦克马思太阳望远镜将来自太阳的光线聚焦，沿着一条长的倾斜隧道直到地下设施，在此将深度过滤后的光线用于产生太阳快速变化大气的详细影像。为了研究太阳的外层大气或称日冕，用日冕仪挡住日轮的主要光线，以便观察较弱的日冕。

射电天文台 射电天文台一般不像光学天文台那么专业化。射电望远镜装置可用于对太阳系中各行星进行雷达测绘或详细研究数十亿光年以外的遥远类星体。由于无线电波可穿透吸收光线的昏暗尘埃，射电天文台很容易研究许多用光学望远镜看不见的天体。常用计算机来处理射电望远镜接收的信号，将它们转换为可为天文学家研究的有用影像。

因为无线电波的波长比光波长得多，所以射电望远镜比光学望远镜大得多。最大的单一无线电天线是在波多黎各的阿雷西博。它的口径为 305 米，覆盖整个山谷。

天文学家们依靠电子系统将若干射电望远镜连接起来，已建立起像单一的极强大望远镜一样工作的网络。这些网络称为干涉仪，可能位于一个天文台内，例如新墨西哥州内拥有甚大天线阵(VLA)的索科罗天文台，也可能包括不同大陆上若干不同的射电天文台。甚长基线干涉仪(VLBIs)实际上是由 6 个或更多的天文台合作组成的极大仪器，可分辨很微小的细节。

天文台选址

光学天文台一般位于相对偏僻的山顶。这样的地址之所以最合适，是因为海拔高的地方大气对光线的吸收和干涉以及大气的不稳定性最轻微。此外，光学天文台通常位于远离人工光源的地方。例如，街灯和霓虹灯可使照相感光底片形成雾翳。地址通常选在夜空常常清澈的地方。

由于无线电波可穿透云层，射电天文台的地址较易找到。但是，水蒸气可吸收某些无线电波频率，并且人工无线电源可引起对于来自外部空间的无线电波的估计不准确。地址以干燥和偏僻的地方为好。

主要天文台

天文台	位置	主要仪器（大小）	主要仪器（类型）
装备有反射望远镜的光学天文台			
凯克望远镜天文台	夏威夷的莫纳克亚	1 006 厘米	反射望远镜
专门天体物理台	俄罗斯泽连丘克斯卡亚	600 厘米	反射望远镜
史密森天文台	亚利桑那州图森	640 厘米	多镜面组合反射望远镜
帕洛玛天文台	加利福尼亚州帕洛玛山	508 厘米	反射望远镜
托洛洛山泛美天文台	智利拉塞雷纳	400 厘米	反射望远镜
基特峰国家天文台	亚利桑那州图森	400 厘米	太阳反射望远镜
英-澳天文台	澳大利亚赛丁泉	389 厘米	反射望远镜
欧洲南天天文台	智利赛罗拉西亚	358 厘米	反射望远镜
里克天文台	加利福尼亚哈密尔顿山	305 厘米	反射望远镜
麦克唐纳天文台	得克萨斯州洛克山	270 厘米	里奇-克莱琴反射望远镜
拉斯·坎帕纳斯天文台	智利拉斯·坎帕纳斯	257 厘米	反射望远镜
卡尔·史瓦西天文台	德国克赖斯耶拿	200 厘米	反射望远镜
装备有折射望远镜的光学天文台			
国家天文台	西班牙卡拉尔阿尔托	150 厘米	折射望远镜
叶凯士天文台	威斯康星州威廉斯湾	102 厘米	折射望远镜
装备有可转型望远镜的射电天文台			
国立射电天文台	新墨西哥州索科罗	25 米	可转型望远镜天线阵
射电天文中心	印度乌塔卡蒙德	530 米×30 米	可转型望远镜
马克斯·普朗克射电天文研究所	德国埃费尔斯贝格	100 米	可转型望远镜
纳菲尔德射电天文实验室	英国焦尔雷尔班克	76 米	可转型望远镜
装备有固定型望远镜和天线阵的射电天文台			
穆拉德射电天文台	英国剑桥	5 000 米	固定型天线阵望远镜
克拉克湖射电天文台	加利福尼亚州博勒戈斯普林斯	3 000 米	固定型天线阵望远镜
专门天体物理台	俄罗斯泽连丘克斯卡亚	600 米	固定型望远镜
阿雷西博天文台	波多黎各阿雷西博	305 米	固定型抛物面望远镜
轨道天文台			

哈勃空间望远镜天文台	240厘米 红外、紫外和X射线望远镜
柯伊伯机载天文台	91厘米 反射望远镜

空间天文台 来自遥远地方的X射线、γ射线、紫外辐射和大部分红外辐射受到地球大气的阻止。为了观测光谱中的这些部分，天文台必须位于空间。轨道卫星上的仪器可分析转播到地球上射电观测站的数据。

1978年发射的爱因斯坦X射线轨道天文台和1983年发射的红外天文卫星，为科学家们开辟了发现各种现象的新领域。美国国家航空和航天局（NASA）1990年4月24日发射的另一轨道天文台是哈勃空间望远镜天文台。尽管它的主反射镜有严重的问题，但是哈勃空间望远镜天文台观测了遥远天体上的X射线和红外和紫外辐射，并且分辨出遥远天体上的近距特征。1991年4月7日发射了γ射线天文台（GRO），以研究碰撞或爆发恒星、超新星、脉冲星、类星体和黑洞所发射的γ射线。预期NASA于1998年将发射先进的X射线天体物理装置，并于2000年将发射空间红外望远镜装置。

历史和未来发展

关于月食和对于行星金星观测的书面记载，可追溯到公元前2000年时的巴比伦。早期的天文台包括相当简单的机械设备，用于测量天体运行的方向及其与地球的距离。上个世纪发明了较复杂的设备，例如星盘。星盘是一种圆盘，边缘标明角度，并有一活动指针。它们用于确定天空中各点之间的角距和比较行星或月球与固定恒星的相对位置。

随着在地中海盆地和后来在中国的长途贸易的发展，依靠恒星进行航海成为必然。准确的天文观测，对于古埃及的农业社会有很大的用处。金星的升起被利用来计划种植和收获的时期。天文学的发展使人们相信，各行星的运动影响人类的生活，从而引起人们对天体的兴趣。

虽然巴比伦、中国和阿拉伯国家通过建立天文台而对天文学的发展作出贡献，但是，推动天文学的主要动力却是16和17世纪欧洲各贸易国家对于有助于准确航海的手段的需要。随着17世纪初望远镜的发展，准确的天文学观测成为可能。第一座现代天文台，伦敦的皇家格林尼治天文台，于1675年由英国国王查理二世建立，宗旨为发展准确航海和计时的手段。该天文台目前仍用于测绘各恒星位置，并以其出版物《航海历书》而闻名。

到19世纪中叶至末叶，随着准确航海和计时仪器的发展，许多天文台开始追踪脱离直接应用的天文信息。这些众多的天文台主要是私人，常为富有的个人所建立的，或者为各大学所建，并且逐渐增多。今天有些最大的望远镜，例如伯克利的加利福尼亚大学和加利福尼亚理工学院中的凯克望远镜均为大学所建。政府保持一些大型天文台，例如美国的国立光学天文台和国立射电天文台。

到了20世纪80年代中期，有些新天文台的计划已在实施。史密森学会的多镜面望远镜所倡导的聚集一个以上反射镜的光线的想法，在美国的国家新技术望远镜中得到进一步发展，该望远镜设计为将4个762厘米的大反射镜联合起来达到相当于一台1 524厘米望远镜的功率。它的设计使帕洛玛天文台的望远镜的聚光能力提高10倍。还计划兴建与射电干涉仪所根据的原理相同的光学干涉仪。随着电子技术的进一步发展，预期对于大气闪烁的补偿可改善地面天文台。

撰文：Eric J. Lerner

天文馆 PLANETARIUM

世界上第一所天文馆1923年在德国慕尼黑德意志博物馆里建成开放的时候，它被称做是“天穹下的教室”。这样的机构是致力于天文学及其相关领域特别是空间科学的普及教育的。天文馆里的天象仪将各个天体的像投影到一个半圆形屋顶上，显示天体的位置和运动。屋子里的座位可以容纳观众多达600人。

各个天文馆的设备可以有很大的差别。有的天文馆有很宽敞的展览空间，有很多博物馆藏品和工作人员。放映厅的圆顶直径可达25米或者更大。天象仪是每个天文馆的中心。蔡司或许是最著名的天象仪制造厂。第二次世界大战以来，天象仪既在德国的上科亨的一家蔡司厂制造，也在1923年制造第一台天象仪的耶拿的原来的蔡司厂制造。美国和日本也有其他厂家在生产。当代的蔡司仪器是个大型仪器，是为放映星空里行星、太阳和月亮正确位置的像而设计的棱镜、灯、传动装置和发动机的技术先进的综合体。可以操作天象仪，使它显示曾经出现在遥远的过去和将要出现在遥远的未来的日月星辰的像的相对位置。两个球形装置放映星像，一个放映北天的星像，一个放映南天的星像。使用辅助装置可以放映其他天体的像，包括银河、彗星和流星雨。另外也利用了可以移动的发光的箭头之类的辅助物，增强视觉效果。

在典型的天文馆里，定期为公众演示天象，或者像人们通常说的，进行天象表演。天文学的主题往往配有音乐、各种专门效果，以及通常是事先准备好的录了音的解说词。许多节目已经自动化了。为中小学生准备的专门的天象表演已经成为几乎每个天文馆的各个项目中主要的部分，它的内容往往结合了当地学校的科学课程。

圆顶表演厅里环绕处于中心部位的放映机布置座位是最常见的安排。但是也已经有了座位朝一个方向安排的实验。“太空影院”最近的趋势是把重点放在倾斜的或者变形的半球上的广角电影，把星场的放映放在第二位。

近来开发的阴极射线放映系统和激光系统可能最后将取代光学-机械天象仪。这样的电子控制系统便于与计算机数据库结合，有潜力在传统的放映形式以外创造许多新的形式。例如考虑到恒星的距离，这个系统可以创造出幻觉，让你觉得正在穿越太空在恒星之间飞行，而在任何新的景观里始终保持周围环境的正确的形象。

天文爱好者活动 ASTRONOMY, AMATEUR

天文爱好者活动现已成为全世界的群众性活动。天文爱好者通常订阅通俗的天文学期刊，并常拥有中等价格的望远镜。几乎每座城市都有一些天文学俱乐部，许多国家都有热心于促进他们的业余爱好的一些全国性天文爱好者组织。有些这类组织已联合起来观察特种类型的天体或天文事件。

由于天文爱好者在数量上远远超过职业天文学家，新彗星或爆发星的发现者常是天文爱好者。职业天文学家经常集中研究一种类型的对象，或者可能完全不观察天空。一个初学的后院观星者，纯粹为了消遣而巡视夜空，发现这些天体可能比任何人都早。

一个专心的天文爱好者可在正规的基础上观察天空，并可利用他人记录的大量储存信息。有许许多多的星图、一览表和手册可指出各天体的位置和预告天文事件。其他图书描述使用的仪器和观测的技术。许多先进的天文爱好者利用家用计算机、光敏电子设备和特种的照相乳剂来记录资料，如同职业天文学家一样。

肉眼观测

有些重要的观察可用很小的设备成功地进行。例如，对于极光出现和流星雨的观察，只须用肉眼即可（见：极光）。一个人所需要的一切就是一个清楚的地平线和远离城市灯光和污染的黑暗天空。一副良好的双目望远镜或双筒望远镜可能有帮助，但不是必需的。拍摄极光出现也很简单，运气好时还可用三角架上静止照相机中的高速胶片拍摄流星尾迹。

流星雨方面的大量知识来自某些天文爱好者组织，例如美国流星协会或欧洲流星天文爱好者协会，它们的会员花费成千上万个小时来记录各个流星出现的次数和位置。据此，算出了流星群每小时的平均速率及其辐射点或称原点。大多数每年出现一次的流星雨都与在空间拖有尘埃尾迹的古老彗星有关系。通常一个观测者在一阵流星雨中可能每小时看到 20 颗－50 颗流星，但是，偶然一次可看到几千或几万颗“流星”的壮观的流星雨将奖赏流星观测者。

小型望远镜

望远镜的两个最重要因素是聚光能力和放大率。一个人用双目望远镜（两个望远镜装在一个框架上）或小型望远镜，容易观测肉眼看不到的许多天体。太阳、月球、行星和所谓的深空天体——星云、星团和星系——用颇简单的仪器都可以看见。

观测者用这些仪器可数出太阳的黑子数并测量其大小和位置。因为太阳非常明亮，望远镜的主透镜或反射镜可以很小。为了避免眼睛严重受损，决不要用一架没有适当滤光片的望远镜直接注视太阳。太阳甚至对于肉眼也太亮。日食期间人们想观看被部分地遮住的太阳，但是，即使太阳表面有很小一部分保留可见，也能损害视网膜，并在眼中留下一个永久性的盲点。

观察日食或太阳黑子的一种好办法就是，用一片望远镜目镜将太阳的明亮影像投射到一个屏幕或白色纸板上。还有一种更好的办法，就是采用一个太阳滤光片，它可用光亮的薄铝层完全遮住望远镜的入射口。这种材料可反射大部分阳光并将其亮度减小到正常强度的十万分之一以下，从而使观察安全。

月球是可用望远镜研究的一个迷人的天体。用一架 50 倍以下的望远镜，可看见环形山、山脉和黑暗的月“海”。用 200－300 倍的望远镜可详细地看见其高低不平的特征。最好的观察位置是沿着月球上黑暗与明亮部分的分界所形成的线，在这里日光照亮了较高的地方。观察月食总是安全的，因为月光比日光弱得多。月食期间，天文爱好者可观测某些环形山进入地球阴影的时间。

高倍望远镜

对于行星，最好是用 100—300 倍的高倍望远镜来观测。之所以需要这样的放大率，是为了使它们的影像大得可以观察清楚。倍数更高时，地球的大气通常引起影像变形。建议采用折射望远镜或称透镜式望远镜。高倍反射望远镜的光路中有一个小的二次反射镜和若干个支柱，可散射一部分光线，其清晰度降低。另一方面，透镜可因本身的某些效应而使影像呈现不良颜色。可用滤色片减少影像中某些颜色，以加大行星各特征之间的反差。例如，黄色或蓝色滤光片可使木星云的图形更清晰，而红色滤光片可使火星表面的暗区更明显。这些细节对于认真的天文爱好者很重要。例如，月球和行星观测者协会有 700 多名会员绘制了各行星特征的详细草图，并追踪了绕太阳运行的若干模糊天体的运动。

研究银河系中数以千计的已知变星的天文爱好者组织已完成大量的研究。这些星的亮度在膨胀和收缩的过程中，以数日或数周为周期而起变化。美国变星观测者协会（AAVSO）的会员们对于各变星亮度的波动，已进行过数百万次观测。该组织绘制了变星视场图和主要变星的光变曲线，这是在其他地方几乎不可能得到的大量信息的来源。大部分欧洲国家及许多其他国家也有组织良好的变星观测组织。

天文爱好者用良好的望远镜可记录的另一种类型的事件称为掩星。当月球（一个行星），甚至一个小行星通过空间时，有时也会经过一个恒星的前面。该恒星会在地球上某一地理位置上被短时间“掩蔽”。如果此事件的时间被准确地记录下来，并且该观测者的位置已知，就可能很准确地确定该运动天体的速度和位置。如果该恒星重新出现的时间也被记录，并且可从若干个观测者收集到信息，则可能确定在该恒星前面经过的该天体的直径。已成立了一个名为国际掩星定时协会（IOTA）来收集这些数据。

利用曝光表和高速电子仪器，甚至可能在遥远星球消失时测量它的变暗过程。这种信息可用于计算该恒星的直径。

大型望远镜

具有较大透镜或反射镜的望远镜可聚集较多的光，最

适用于在低放大率下观测暗淡彗星、小行星和空间深处的天体。透镜为76毫米或更大的双目望远镜有时称为"彗星搜索镜",因为许多彗星都是天文爱好者用这种双目望远镜扫描日出或日落前后的黄道带而发现的。许多天文爱好者研磨自己的望远镜反射镜并将它们装在不昂贵的木制望远镜镜筒中。有一种望远镜称为多布森望远镜,根据圣弗朗西斯科人行道天文爱好者协会的约翰·多布森的姓氏命名。带着直径50.8厘米或更大的望远镜,有些天文爱好者艰苦跋涉到山区,以寻找可以看清只能用大型仪器才能看见的遥远星团和星系。所有上述组织以及当地的天文馆,都关心和帮助初学的天文爱好者学习更多的专业知识。美国出版的两种期刊:《天空和望远镜》和《天文学》也有益于初学的和资深的天文爱好者。

撰文:James A. Seevers

时间 TIME 在我们的日常生活中,我们感受到时间有时流得快,有时就慢,这取决于我们对活动的专心程度。物理科学家和工程师把时间作标准,用来量度他们完成一些事有多久。对于生物科学家,时间的概念包含生命体的自然时间循环,例如每天的睡眠和清醒的循环。

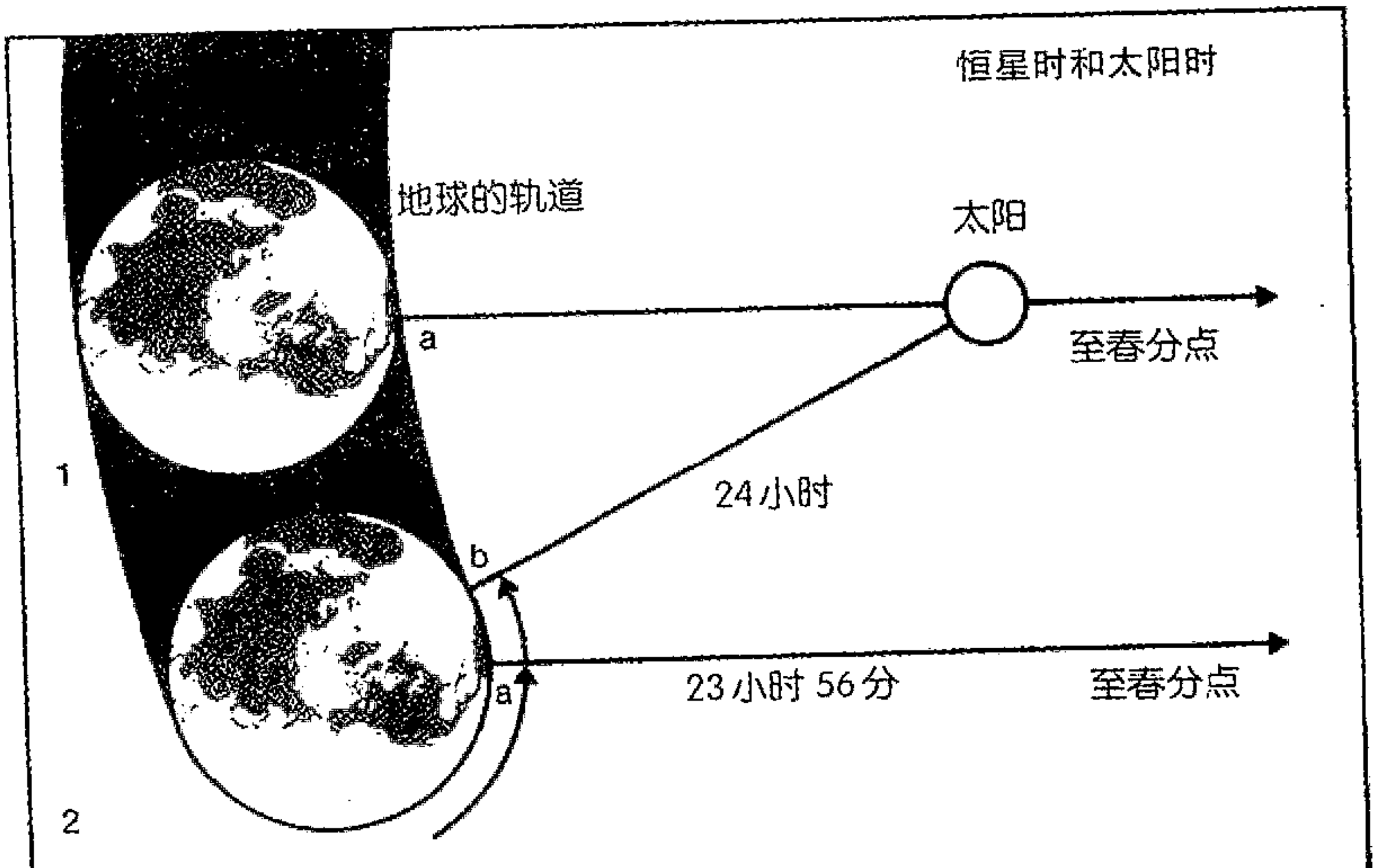
不同的文化在不同的时代对时间的认识是不一样的。在一些宗教中,时间——特别是地球上人类的时间——被认为是循环轮回的,人们死后又投生再投生地循环不已。一些古希腊哲学家相信,时间是幻觉,真理是不变、不动的。一些主要宗教教谕人们,时间是神创造的,并注定要终止在一个可怕的末日。牛顿相信时间和空间是绝对的、理想的和不变的。他的观点被爱因斯坦的相对论推翻了,相对论需要人们考虑时-空组合体系,这和我们的常识相矛盾。

时间的测量

对科学家来说,时间的测量有两个步骤:规定发生某些事件的准确时刻并建立时间的标准间隔或某些事件持续多久。多种设备——包括日晷、表和钟——的发明以显示时间和测量时间的间隔。

时间的单位 熟悉的三个时间单位——年、月和日——起源于古代人已观察到的自然循环。七天一星期可能起源于中东。把每一天分为24小时,每小时分为60分,每分分为60秒,可能来自古代苏美尔计算方法(它的特征是除法以60进位为基础)。现在秒这个单位是准确地根据原子的能量变化来定义的,并采用为基本时间单位。

自转的时间 测量时间过程的所有方法需要计算有规律地出现的循环现象。最简单并使用得最普遍的循环是地球的自转。当地球自转时,恒星和太阳看上去循弧线移动,



当地球位于它的绕太阳的轨道上的位置1时(图中地球、太阳和日地距离都与实际尺寸不成比例),点a(厄瓜多尔的首都基多)处于中午。过了23小时56分,地球绕轴自转一周。一个恒星日(基于天空中特定点——图中为春分点——的相对于基多的运动)过去了,然而基多的中午还未到,因为地球在它的轨道上也往前移动了一点。4分钟之后,即24小时(或一个视太阳日)之后,再次到达中午。那时,地球的转动使基多到了点b,在该处,太阳再次在天空中位于基多的中午处。所以视太阳日要比恒星日长4分钟。

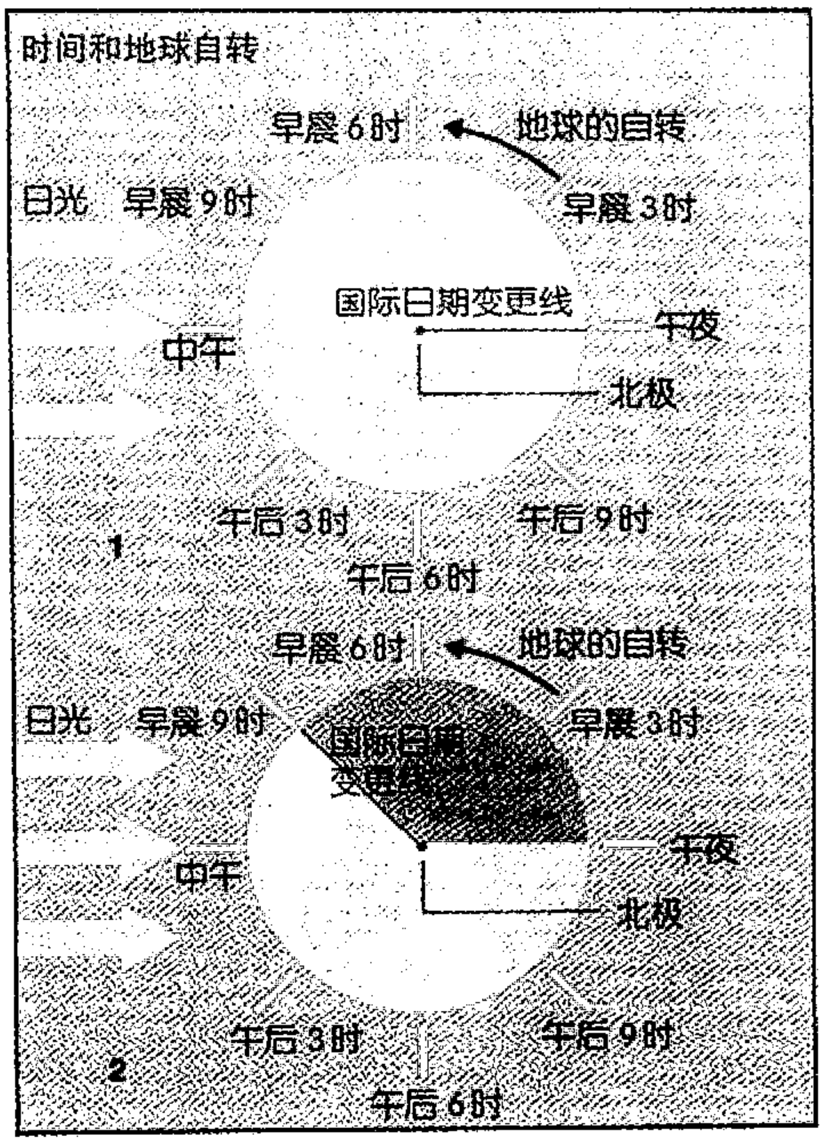
横越天空，转移到地平线之下，重新在地平线的另一头出现，然后再循它们在天空中原来的轨迹移动。以恒星视运动为基础的时间体系，称恒星日。一个恒星日是恒星看上去环绕一周的时间。

相对于太阳的地球自转周期（从一天的中午到下一天的中午）称为一个太阳日。一个太阳日约比一个恒星日长4分钟。所以如此是由于地球绕太阳转动，太阳看上去相对恒星缓慢地向东运动。因此对地球上的观察者，太阳回到原来的天空中的位置要比恒星回到原位稍晚一些。

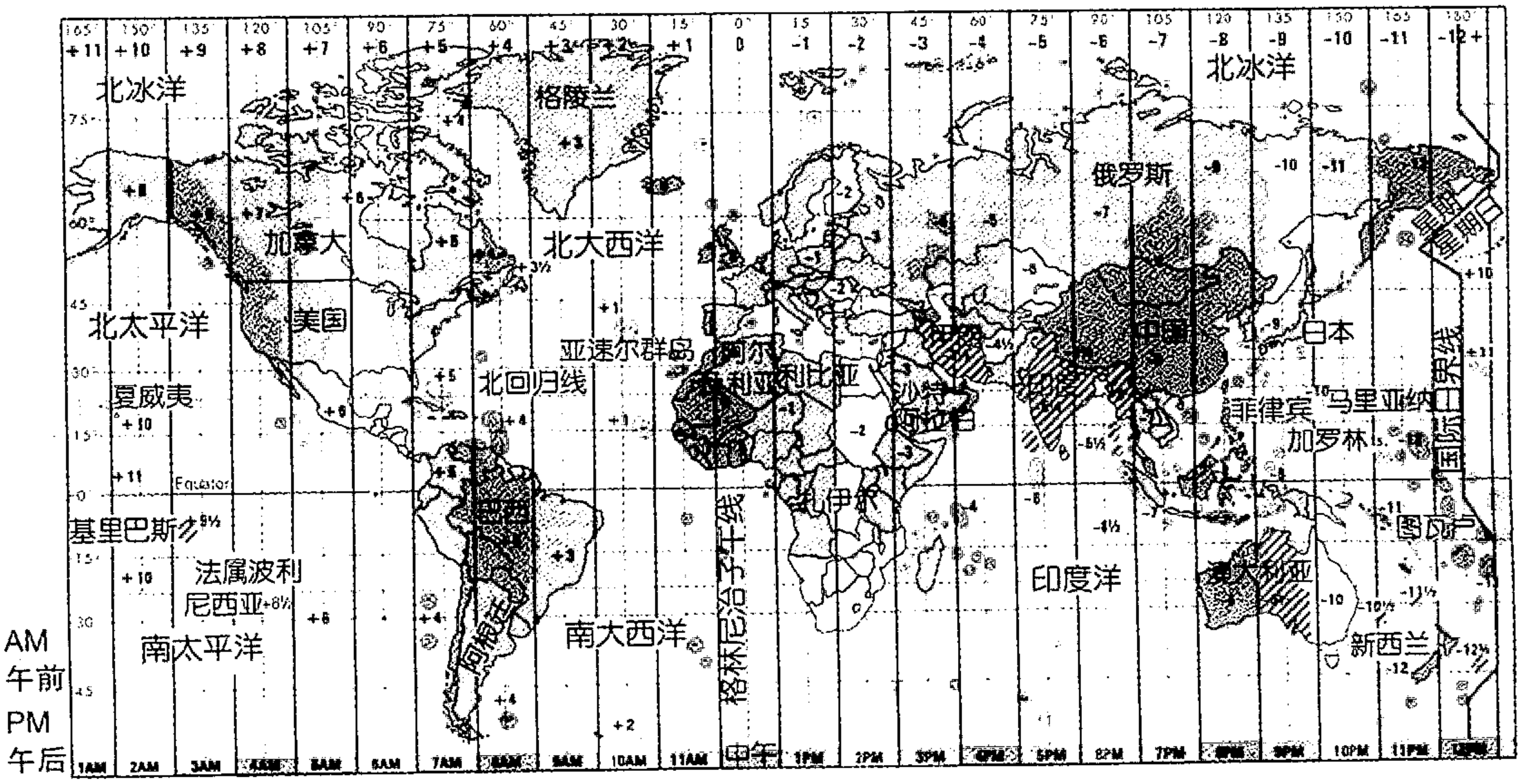
地球循轨道绕到离太阳较近时要比较远时稍快一些，因此每一年中的太阳日的长度并非不变的。为了提供更为均匀的时间体系，用平（均）太阳日——太阳日的年平均长度——建立平（均）太阳时，我们的钟表就按平太阳时设计。

标准时和时区 任何地点的平（均）太阳时取决于这个地点在地球上的位置：东经增1°（或西经少1°），时间就提前4分钟。为避免混乱，许多国家在所划分区域（称为时区）内设标准时间。全球分为24个时区。每个时区的宽度为15经度。经国际协议，通过英国格林尼治的经度线被用做原始或零子午线（见：**纬度和经度**）。在这个时区的时间称格林尼治平时（GMT）；GMT常被与它相关联的一个词世界时（UT）所取代。

国际日期变更线（IDL）简称日界线，是一条在中太平洋大致沿着东经180°的曲曲折折的线。旅行者通过此线向西，要加1天；向东要少1天（见：**国际日界线**）。有些国家采用所谓的夏令时调整本国的标准地方时，降低傍晚需要人人照明的小时数以节约燃料。在春初将时钟前拨1小时，在秋天再拨回1小时。



图中北极位于地球表面图的中心。图1（即顶图），国际日期变更线（IDL）位于地球的正对太阳的背面，那里是午夜，全球任何地点的日期都相同。图2（即底图），9小时后，地球的自转使国际线已进入阳光区，那儿是早晨9时，图中地球上阴暗的一部分，新的一天已经开始了。



全球分为24个时区，每一个约占15°经度，相邻两时区时间相差1个小时。地图上的数字显示要从地方时转到格林尼治时间必须增加或减少的小时数。

世界时和历书时　1928年，天文学家采纳世界时（UT）这个词代表英国格林尼治子午线的平太阳时。以后他们又定义几种世界时，最准确且均匀的是UT2。另一种比UT2更均匀的时间尺度叫做历书时（ET）。它以地球绕日运动为基础。然而这个时间尺度不很实用，因为准确的计算需要很复杂的观察。1964年，一种新的时间尺度即协调世界时（UTC）被各国采用，现已取代了格林尼治平（均）时（间）作为时间的全球标准。UTC比UT2或ET更均匀、更准确。因为UTC的秒以原子时为基础（见下节），虽然UTC的年仍基于地球绕太阳一周的时间。因为地球的转动速率渐渐变慢，有必要给UTC的年加一个额外的秒，称跳秒。通常每年只有一次或两次跳秒。

原子时　今天在国际单位制中秒的长度定义基于铯的一个同位素的一定数目的跃迁数或振动数。这些跃迁所产生的极有规则的电磁辐射波能够被计算出来，制成高度准确的时间尺度。这个秒称为国际单位制秒（SI秒），是协调世界时的基础。

铯原子束钟是通用的最准确的原子时标准，但科学家还用其他原子作原子钟。某些钟——例如基于氢或铍原子——能够比今天的铯原子钟更准确几千倍。

全球的许多国家都在使用很准确的铯原子钟。这些钟记录下来的时间一起平均产生了国际原子时（TAI）。时间信号由全球国家-标准实验室通过短波无线电广播台或人造卫星向全球发播。高度准确的时间信号对追踪航天器和研究地壳运动特别有用。

脉冲星时间　1967年，发现一类新恒星称脉冲星，这类星每秒发射多次有规则的脉冲。这些脉冲的规则性引起对脉冲星钟可能性的关心。虽然所涉及的测量是复杂的，但它显示一些脉冲星可能比原子钟更为规范。

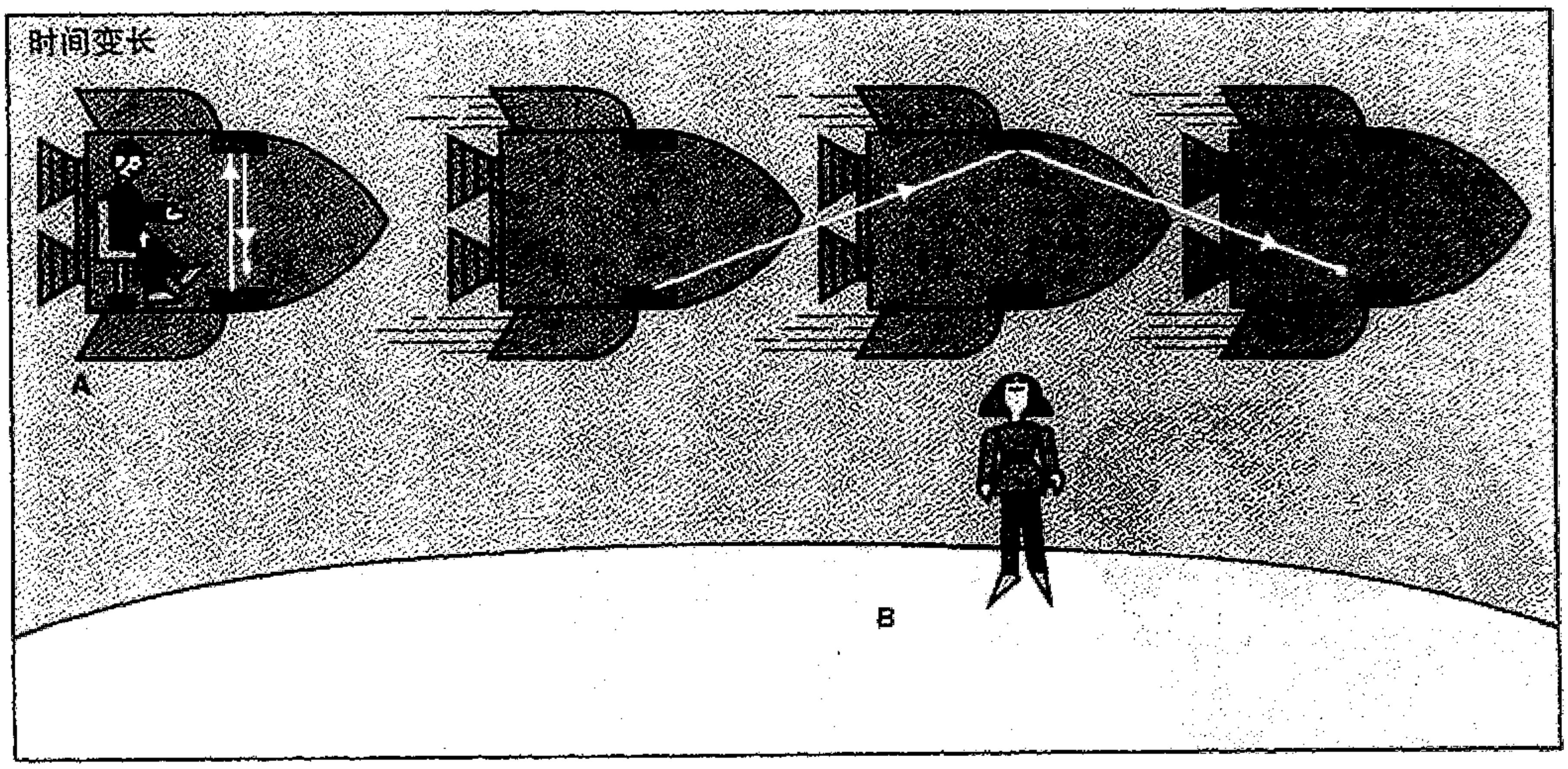
放射性同位素时间　放射性元素如铀自动地衰变为其他元素或同位素。样品中一个特定的放射性元素的原子衰变掉一半的时间称这个元素的半衰期。每个放射性元素有不同的半衰期，所以在某种意义上这些元素有个内含的钟，它制定的时间称放射性同位素时间。科学家利用这个原理，通过测量有机物标本中放射性碳和稳定碳的比例，确定其近似年龄。（参见：**放射性**）

几个科学论点

相对论和时间　爱因斯坦的狭义相对论对传统的时间概念挑战。这个理论的基石之一是光速对任何观察者来说都是等值的。这个原则导致时间不是恒定的。对不同的观察者，时钟快慢不同，这取决于时钟对观察者的相对运动。例如，对一个静止在地球表面上的带着时钟的观察者来说，快速运动的航天器上的钟就要比静止的跟着地球走的钟慢一些。同样地，航天器上的观察者看到跟着地球走的钟慢了。这个效应称为时间变长。

爱因斯坦的广义相对论预言，在引力场中，时钟也走得慢些。因此太空中的时钟要比地球上同样一个钟走得快些，因为地球上的重力强些。爱因斯坦的这两个时间变长的预言都已被实验证实。如今，科学家不再认为时间是独立的、恒定的整体，而是相互依存的时-空连续统的一个方面。他们知道时钟测定的时间取决于时钟在什么地方和它以多快的速度对观察者运动。（参见：**爱因斯坦；相对论**）

原子粒子和时间　对于物质的最小组元——原子粒子，科学家再次发现日常经验不能提供准确的时间模式。在这一层次，时间和能量关联在一个基本模式中，这在较大尺寸的层次中是不明显的。在宏观物体的世界中进行观察



高速航天器中的旅客A看到闪光在两反射镜间垂直反射，并从两次反射的间隔时间求出光速（这是个常量）。在地球表面上的另一观察者B看到光以同一速率运动，但两次反射间所经的距离较远。观察者B算得的两次反射间的时间要比A测定的长些。因此，B看到在快速飞行的航天器中时间过得慢些——称为时间扩展效应。

时，时间因素可能不是临界的。然而，在微观物理学中，事件发生在极短的时间间隔中——经常是几百万分之一秒或更短——在这一层次不可能同时准确地测量时间和能量。例如如果科学家需要测量一个原子发射一个光子的时间，他们就不能同时准确地测定这原子的能量；如果他们准确地测定原子的能量，就不能准确地测定光子的发射时间。

时间的方向 常识告诉我们，时间和空间不同，它只向一个方向前进。自然界中的自动发生的事件，它总是从有序到无序，似乎支持这类观察。例如鸡蛋从桌子边上滚落，并在地上碎裂，但其逆反现象是从未观察到的：鸡蛋不会重圆，然后再从地面上升到桌上滚动。一些科学家建议在某种条件下，时间可能真正地倒流。这个问题是有争议的，并离解决还远。

撰文：James Jespersen

历法 CALENDAR

人们为了知道什么时候播种，什么时候准备过冬，随时关注着白昼黑夜交替的时日进程以及季节的变化。他们有时每天在一根棍子上刻一道痕，或者在一段绳子上打一个结作为记录保留下来。他们还观察太阳和星星的位置和月亮的圆缺变化，以及植物和动物的习性。然而，要制定一套准确的历法，却长时期地使人类为难，因为把时间分为日、星期、月和年，看起来它们彼此之间并不正好互相配合。

早期的历法

巴比伦王国的苏美尔人也许是最早制定历法的人。他们用月相将一年分成 12 个月。为了修正这种按月变化确定的年与按季节变化确定的年之间存在的差异，他们还在历法中每 4 年左右加上一个月。早期的埃及人、希腊人和闪米特人沿用了这种历法。后来埃及人制作了一种历法，几乎与季节完全符合。

古罗马人也使用以月亮为标准的历法。这种历法的一年有 355 日。其中的 3 月、5 月、7 月和 10 月各有 31 日；2 月 28 日；其余的月份 29 日。每 4 年另外再加上一个月。高级神职人员负责历的调整。在每一个月开始的第一天，或者说新月的那一天（朔），他向公众宣布当月上弦和满月（望）的时间。历法的英文词 calendar 来自拉丁语的 kalendae。

然而神职人员掌管历法的职务完成得不好，在儒略·凯撒大帝的时候，他们的夏季月份在春季就提前到来了。公元前 46 年凯撒在儒略历中改正了这种状况。他采纳了埃及天文学家索西琴尼的方案——每年 365 日，每 4 年也就是说逢“闰”年加一日。他还把多余的 10 日加在每月为 29 日的月份上，使得它们与今天的月份的日数相同。

当时的月名 Quintilis 照儒略（Julius）·凯撒的名字更名为 July。以后又把当时的另一月名 Sextilis 更名为 August，用来纪念奥古斯都皇帝。有一个古老的传说，说奥古斯都大帝把以他名字命名的月份的日数也从 30 日改成 31 日，和以儒略·凯撒名字命名的月份一般长。这个传说也许是虚构的。

儒略·凯撒每 4 年加一日的修正（每年四分之一日，或者 6 个小时），造成历法确定的历年长于按季节确定的年。长此以往，周年的日子在一年里头来得越来越早。1582 年作为春天开始的春分点落在 3 月 11 日，而不是正确的日期 3 月 21 日。

罗马教皇格雷果里十三世对此做了修正，他命令在日历里消去 10 天，将 1582 年 10 月 4 日后的第二天作为 10 月 15 日。他还命令每 400 年中取消 3 个闰年。

格雷果里历

这个新历称为格雷果里历或者公历。它为罗马天主教国家所采用，但是新教徒和东正教国家仍长期沿用儒略历，即西洋旧历。英国直到 1752 年才采纳新历，当时需要消去 11 天。东正教教会 1923 年才采纳公历，当时“失去”了 13 天。中国人于 1912 年采纳公历。

格雷果里历的另一项改革是普遍采用 1 月 1 日作为新的一年的开始。在此以前，有的国家把一年的第一天定在 12 月 25 日，另一些国家定在 1 月 1 日，或者 3 月 25 日（例如 1752 年以前的英国）。

其他历法

至今还有若干极其古老的历法系统仍在使用。犹太历、伊斯兰历与中国历是其中最突出的三种。犹太历和中国历都是阴阳历。年的长短按太阳推算，月的长短按月亮推算。伊斯兰历是阴历。

犹太历认为世界创立于按格雷果里历计算的公元前 3761 年。因此，犹太历不像格雷果里历那样将纪年分出公元前（BC）和公元（AD）。因为太阳年比 12 个朔望月多出 11 天左右，于是每 19 年中 7 次加进一个 30 天的第 13 个月。这个传统的做法遵循了古代以色列人熟悉的古代巴比伦传统。对历法的另外一个调整是需要周期性地确定紧接在春季第一天后的逾越节。

基督教的重大节日多数是按犹太人的阴历安排的。因此许多节日的日期是不固定的。主要节日复活节总是安排在每年春分的或者紧接着春分的满月之后第一个星期日。因此教会年历大部分时间，包括复活节前大斋期都要随复活节的日期进行调整。其他的节日如圣诞节和新年的日期则是固定的。

中国的历法基本上是阴历，或者说是以月亮为标准的，12 个月里有的是 29 天，有的是 30 天。在这种阴历中，一年有 354 天。为了使这种历法与大约 365 天一年的太阳年一致，以差不多与犹太历法相同的方式周期性地插入闰月。中国历法的一个有趣的特征是给年取名字。从古代起就将 12 种动物名称与年联系在一起。这些名称的先后顺序是：鼠、牛、虎、兔、龙、蛇、马、羊、猴、鸡、狗、猪。这种年的循环常常用于占星术，与西方用黄道带上的十二个宫来描述个人的性格和预言命运的方式相似。

伊斯兰历法是遵循神圣的经书可兰经指示的完全的阴历。月亮的周期被认为是穆斯林信徒宗教仪式的指南。伊斯兰历一年有 12 个月，每月或者 29 日或者 30 日，全年共有 354 日或者 355 日。由于无意使这种阴历与太阳历相一

致，穆斯林历的月份与季节无关。月份年复一年地向前推进，因此主要的宗教仪式可以出现在任何季节。

美洲土著的历法系统

在克里斯托弗·哥伦布到达西半球以前，居住在那里的印第安人中，要数玛雅人和阿兹台克人使用的历法最为复杂。

北美部落没有真正的历法，或者说没有日和更长的时间单位结合的体系。通常的时间间隔——日、月、年——是互相独立计算的。日是一个所有的部落都认可的基本单位，但是没有日的任何名称的记录。较长的时间段落以月亮为标准计算，或者从新月开始，或者以月亮和太阳的会合为起点。一年分成 4 个季节。对于从事农业的定居的部落来说，季节的划分很重要，但是年的开始时间却各不相同。有些部落的新年自春分即春季的开始起算。亚利桑那州的霍皮印第安人在 11 月庆祝他们称为新火庆典的新年，而克里克印第安人的新年仪式却在 7 月底或者 8 月初。

玛雅历法　玛雅历法的基本结构与古代墨西哥人和中美洲人的所有历法相同。它由有 260 个命名日的仪周和 365 天的年所组成。这些周同时并存地形成一个更长的 18 980天的周期，或 52 个 365 天的年，这叫做“历周”，每个周期最后一天都是同一专门名字的日子。365 日的一年分成 18 个月，每月 20 日，另外加上 5 个“凶兆日”，补足全年的日子。

阿兹台克历法　阿兹台克人的历法以墨西哥峡谷早期的历法为基础，与玛雅历法类似。它也有仪周和 365 天的年。但是阿兹台克人的年与玛雅人的年并不一定彼此重合。阿兹台克人也有各含 20 天的 18 个月，另外加上 5 天补足这一年。它也是 52 年为一个周期。节日的时间按年来确定，节日都安排在每个月的末尾。

印加历法　很少人知道秘鲁印加人用过的历法。有些学者甚至说印加人没有历法。但是多数历史学家相信印加人有一种以观察太阳和月亮两者为基础的历法。12 个月的名称和以农业周期设立的节日相互之间的联系都有记录留下来。历法制度似乎是建立在一周 9 天的基础上的。3 个 9 天的周，或者说 27 天大致是两个新月之间的间隔时间。每逢第三年有 13 个月，其余年份是 12 个月。这样就形成 37 个月为一个周期，20 个周期构成一个 60 年的周期。

三种计年法

真正的年，与根据历法制定的年不同，它可以定义为地球绕太阳公转返回轨道上同一点经历的时间。但是事实上存在着几种确定“同一点”的方式。因此天文学家承认有几种年。

最简单的参考点就是地球在轨道上与太阳和某一特定的恒星连成一直线的点。这样的点是固定的，千年万载保持不变。将地球连续两次通过这一点所需要的时间间隔作为一年，这种年称为恒星年。一个恒星年的长度是 365 日 6 小时 9 分又 9.5 秒。

轨道上另外一个参考点是地球轨道上这样一个点，那时地球的轴垂直于来自太阳的线，或者说与之成直角。这一现象每年出现两次，春秋各一次。地球连续两次通过这两点中的一点所需要的时间间隔作为一年，这种年称为回归年。它的长度为 365 日 5 小时 48 分又 46 秒。四季与回归年合拍，因为两者都以地球轴的位置为基础。因此历年是以回归年为基础的。

还有另外一个天文学参考点是近日点，这是地球绕日轨道上距离太阳最近的点。两次通过这一点所需要的时间间隔称为近点年。因为近日点缓慢地向地球在轨道上运行的同一方向移动，近点年是三种计年法里最长的年。它的长度是 365 日 6 小时 13 分又 53 秒。

月、星期、日

在英文中月（month）这个单词是来自古老的英文词 moon（月亮）。起初月是表示两次新月之间的间隔时间。今天天文学家把这样一段时间间隔称为朔望月。它的平均长度为 29 日 12 小时 44 分又 2.8 秒。月球绕地球转一圈的时间长度为 27 日 7 小时 43 分又 11.5 秒，这是恒星月。公历的月通常长短不一，除 2 月份外，其余各月都比 29 日长，这是为了迁就太阳年的长度，太阳年比阴历年几乎长 11 天。

现在的格雷果里历的月份的名称来自儒略历古罗马的月份名称。1 月 January 来自 Janus，这是古罗马的门神，常常被描绘成面朝两个方向的两面神。2 月 February 来自 Februa，这是洁身、斋戒的宗教节日。3 月 March 来自战神玛尔斯（Mars）。4 月 April 来源不明。有可能来自希腊女神阿佛洛狄特 Aphrodite。5 月 May 可能出自女神迈亚（Maia）。6 月 June 来自女神朱诺 Juno。7 月 July 和 8 月 August 分别以儒略·凯撒（Julius Caesar）和他的继承人奥古斯都（Augustus）命名。最后 4 个月来自它们最初在一年中的顺序数字。例如 Septem 在拉丁语里是“7”。

7 天作为一个星期，并没有天文学的根据。很可能它起源于中东，或者出自圣经。在公元 3 世纪的时候，罗马皇帝采用同样长度的时间作为星期。周日的名称出自当时已经知道的 7 个行星的名字：土星（Saturn）、木星（Jupiter）、火星（Mars）、太阳（sun，当时还没有与行星区分开）、金星（Venus）、水星（Mercury）和月球（moon，也被认做一颗行星）。在通用拉丁语的国家里，周日的名称仍然指示着它们最初的根源。英语也是如此，例如 Sunday（星期日、日曜日）、Monday（星期一、月曜日）、Saturday（星期六、土曜日）也是如此，但是星期二（Tuesday）、星期三（Wednesday）、星期四（Thursday）和星期五（Friday）却是以斯堪的纳维亚的神的名字 Tiw、Woden、Thor 和 Frigga 命名的。

年　YEAR　见：历法

季节　SEASONS

实际上，每种生物都要受到季节的影响。农民在温暖的月份进行耕种和收成，而在冬季修补篱墙，护理家畜与工具。换季时，人们便换穿厚衣或薄衣，吃不同的食物。世界上很多地方，人们每个月都做各式各样不同的运动游戏。

季节的循环

4个季节组成一年，常称之为季节年(见:**历法**)。在世界的多数地方，只在中纬度处可认为有四季。在热带区，只有雨季与旱季的交替。

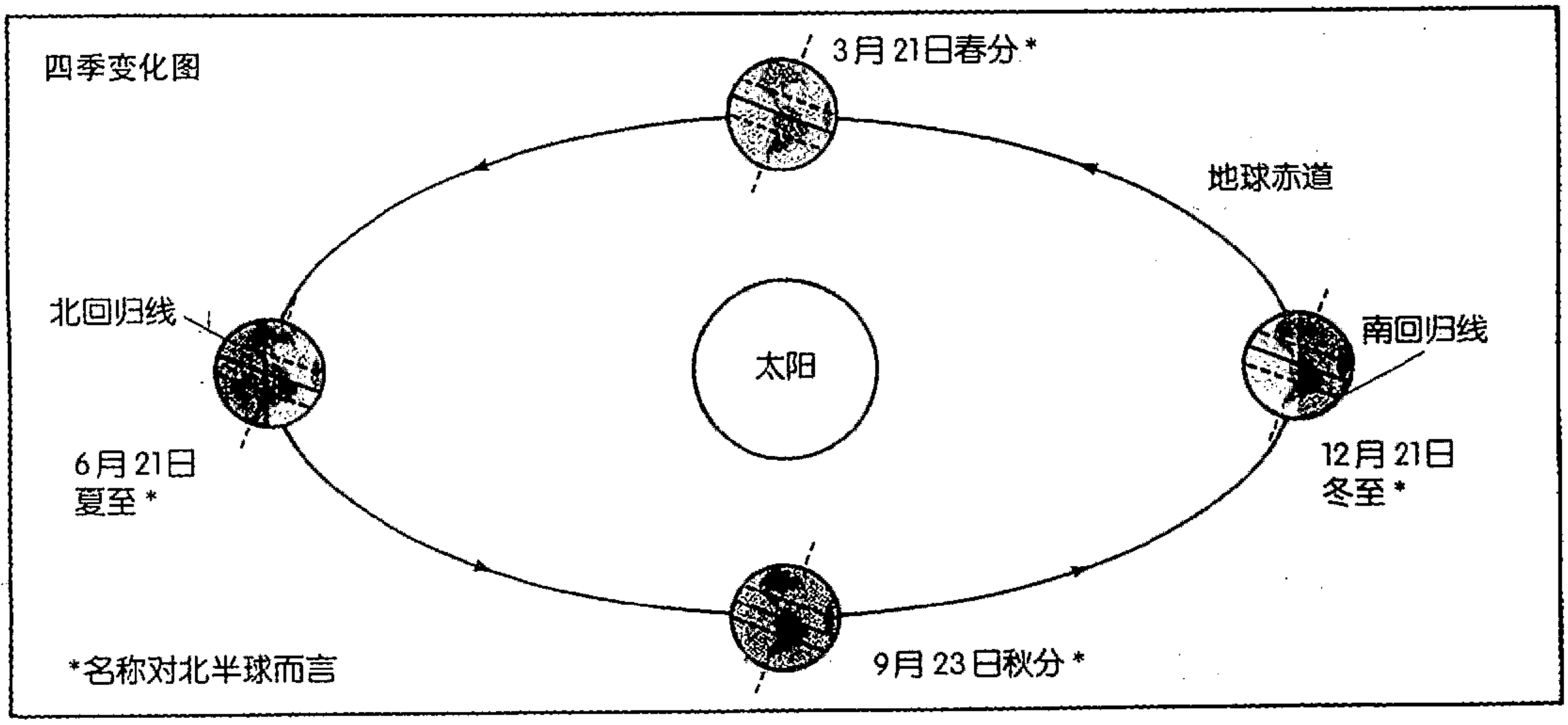
在有历法之前，人们是靠观测天象得到新季节来临的信号。这类知识，对人们确定播种与收获时间至关紧要。例如，当明亮的狮子座α星(轩辕十四)在北半球升到东方地平线之上，预示春天就近了；血红色天蝎座α星(心宿二)的出现表示夏天的降临；四角形的飞马星座意味着秋天将近；而金牛座α星(毕宿五)之出现则是在报冬。

季节对动植物生命都有深刻影响。在春季，植物和树木萌发新叶并开花，候鸟迁居到更暖和的地区，还有许多动物从冬眠中苏醒。在夏季，长时间的日照提供了光合作用的能量，因而刺激了植物也刺激了动物的生长。在秋季，要完成一年中最后的收获，许多植物落叶，鸟类飞往更暖和的地区，几乎所有毛皮动物都长上了浓密的新毛。到冬季，动物或冬眠，或筑起防风雪而保暖的巢穴，植物种子生了新的硬外衣来御寒，而萌芽则表面长出了蜡膜来防冻。

四季的名称中，仍隐示原始民族对它的感受。冬季(winter)一词在古日耳曼语中是降水(雨雪)时节的意思。春季(spring)一词是指万物跃长。夏季和秋季这两词的原词则已失传。不过，美国人一般将“秋”字代之以“落”(fall)字，后者来源于“叶落”。

太阳与季节

人们总是观日来作季节变化的征兆。北半球的居民早就知道在6月22日左右，中午太阳在天空中最高，在12月22日左右为最低。这两个位置称为至点(即分别为夏至和冬至)。一年中，在夏至(点)的白天最长，而冬至(点)的白天最短。在3月21日和9月23日左右，太阳在天上处于半高位置，这称为二分点。在这两个时候，昼夜几乎一样长。在南半球，冬至在6月夏至在12月，而春分与秋分则正好与北半球的相颠倒。



地球在绕太阳公转的每年中，由于地球绕自身地轴自转中所处的不同位置，而引起季节的变化。

太阳视位置的变化基于两个事实。第一，地球每年绕太阳公转一次，而每日绕其自身之轴自转一次。第二，地球之轴与地球公转轨道平面的垂线偏斜了23°30′。因此在6月，北半球稍斜向太阳，而南半球正好稍斜离太阳。在12月，则情况与上正相反。在3月和9月，南北两半球的日照相同。(参见:**天文学;地球**)

地轴的倾斜引起了季节变化。当北半球斜向太阳时，太阳行于天空之高处。于是，阳光更近于直射。它比斜射的光要强。夏季的白天长，而使地球从阳光中吸收了大量的热。当北半球斜离太阳时，则情况与上正相反。这时太阳行于天空之低处。阳光的直射程度差，而以斜射为主。白昼短而地球吸热较少，使天气变寒。由于南半球总是反向倾斜的，因此南半球夏季在12月而冬季在6月。在赤道上，季节变化一般是雨季与旱季的交替——每年有两次雨季和两次旱季。

夏、冬至和春、秋分标志着每个季节的开始，但一年中最冷和最热的时间，并不正好与以上冬至和夏至的日期相一致。在冬季，地球慢慢地放出它在夏季吸收的热量。因此在太阳过其最低的位置之后，才到冬天的最冷时。在夏季，地球相对应地在慢慢地吸热，所以最热天在夏至之后。

撰文:Albert Snow

月 MONTH 见:历法

一月 JANUARY 见:历法

二月 FEBRUARY 见:历法

三月 MARCH 见:历法

四月 APRIL 见:历法

五月 MAY 见:历法

六月 JUNE 见:历法

七月 JULY 见:历法

八月 AUGUST 见:历法

九月 SEPTEMBER 见:历法

十月 OCTOBER 见:历法

十一月 NOVEMBER 见:历法

十二月 DECEMBER 见:历法

星期 WEEK 见:历法

夏令时 DAYLIGHT SAVING TIME (DST)

1784 年本杰明·富兰克林在一篇异想天开的文章中首先提议在非睡眠时间内将时钟拨快以得到更多的白昼时间。1907 年英国威廉·威利特发起在春夏季将时钟按 4 个阶段拨快,每次 20 分钟,总共 80 分钟。后来又有人提议在春夏季将时钟拨快 1 小时,这个修改建议在第 2 年就被拒绝了。

在第一次世界大战期间,夏令时首先被美国、德国和英国等国家采纳。在第二次世界大战期间继续执行同一种政策。在英国曾实行一种"双夏令时",即在夏天将时钟拨快 2 小时,在冬天拨快 1 小时。

美国 1966 年的《统一时间法》,又称 6 个月夏令时,曾于 1967 年在美国大部分地方实行。1973 年曾试行全年夏令时,但很快失去公众支持。1986 年规定夏令时于每年 4 月的第 1 个星期日开始将时钟拨快 1 小时,到 10 月的最后一个星期日又拨回去。

托勒密 PTOLEMY, Claudius

(约 90 - 168) 公元 2 世纪时的一位杰出的天文学家、数学家和地理学家。虽然他的著作流传了下来,但我们对其生平几乎一无所知。托勒密所公布的数据资料,载于《天文学大成》的巨著中。其中综合了古希腊天文学的知识,提供了一扩展到有 1022 颗恒星的星表。他提出了以地球为中心的地心宇宙,其中诸行星与固定恒星都镶在绕地球转的同心的结晶球上。在众恒星球的外边有另外的天球,而终止于"原驱动体",后者给所有的球以动力。托勒密体系一直被西方基督教界推崇为权威性教条,直到 15 世纪方为哥白尼的以太阳为中心的日心地动的体系所取代。(见:哥白尼)

托勒密发表过几本有关几何学新论证与新定理的著作,制定了一个能指示气象和恒星出没的日历,写了 5 部涉及光学现象的书,还有发展音乐的 3 卷论著。他以地理学家而闻名则是由于他曾著过共 8 卷的《地理学指南》。书中提供了绘制地图的资料,其中列出欧、亚、非洲一些地方的纬度和经度。尽管书中有不少错误,但对后代的地理学家与地图绘制家仍有很深的影响。

欧玛尔·海亚姆 OMAR KHAYYÁM

(1048 - 1122) 惟一有双重名声的人。在他所处的时代欧玛尔·海亚姆被公认为一位辉煌的学者,他精通数学、哲学、天文学、法律、医学和历史。对现代英语系的世界,他则是一小册优美非凡的诗篇的作者。

欧玛尔·海亚姆(意思是:制帐篷人欧玛尔)于 1048 年 5 月 18 日,生于波斯的胡拉桑州的内沙布尔。海亚姆这一名字大概是由其父从事的生意而来。他受过良好的科学教育,并为其本人树立了声誉,致使苏丹王马利克·沙为改革历法,派他去做天文观测。欧玛尔著作今仅存其中的一些片段。由于在他生前并无作诗的明显记载,以致长期以来,有人对他是否作过诗而表示怀疑。但有一学者已鉴定出至少有 250 首诗肯定出于他的手。欧玛尔·海亚姆于 1122 年在内沙布尔去世。

《鲁拜集》为每节四行的长诗。19 世纪英国诗人爱德华·菲茨杰拉德译其诗时,不受约束,且将其编成一些题目相关的群组。而在波斯文的原诗中,每一四行诗都自成一单独完整的诗,只有在主题重复出现时,才互相关连。欧玛尔·海亚姆的长诗《鲁拜集》自 1859 年出版以来曾多次重印。

哥白尼 COPERNICUS, Nicolaus

(1473 - 1543) 波兰天文学家,通常被认为是近代天文学的奠基人。他提出日心地动说,即地球自转并与其他行星共同绕日公转的理论。

哥白尼于 1473 年 2 月 19 日,生于波兰维斯瓦河畔之托伦城,是一商人之子。幼年时由舅父瓦琴洛德养育,后者为一富有的天主教主教,后他送哥白尼到克拉科夫大学去学数学。哥白尼后来还曾在意大利的波伦亚大学学过法律,也在帕多瓦大学学过医学。1500 年,他在罗马讲授天文学。于 1507 年,他回到了弗龙堡附近他舅父所在的城堡,为该老人的家庭医生。哥白尼花费了相当多的时间研究恒星。

哥白尼的天文理论和当时众所接受的托勒密理论是针锋相对的(见:**天文学**)。在1530年,他完成了名著《天体运行论》。由于其理论与罗马天主教会的教谕相背,使其著作经13年而未发表。不过显然的是:在1543年5月24日他临终前接到了该书的首版。这书开辟了天文学真正通往科学之道。诸如伽利略和约翰尼斯·开普勒等人,都深受其影响。(参见:**伽利略**;**开普勒**)

伽利略 GALILEO (1564-1642) 近代物理学的开端应归功于伽利略,他是第一个使用望远镜的天文学家。伽利略通过发现木星的4颗卫星,提供支持哥白尼学说的直观证据(见:**天文学**),从而帮助驳斥了许多中世纪的科学思想。

伽利略·伽利莱诞生于意大利比萨,一般仅以其名的第一个字为人所知。他的家族属于贵族,但不富裕。他的父亲送他入当地大学学医。可是不久,伽利略就转向科学事业。

1583年,伽利略通过观察比萨大教堂中摇摆的吊灯而发现了摆的定律。他用自己的脉搏计时,发现无论吊灯的摆幅是宽还是窄,吊灯完成一次摆动的时间都一样。因而,他提供社会第一个可靠的计时手段。

一堂几何学的讲课点燃了他对数学的兴趣,并征得父亲的同意改变自己的研究科目。1585年,迫于穷困而辍学,并到佛罗伦萨学院任讲师。次年,流体静力学中的一些发现引起他的注意。1589年,由于他在动力学方面的工作成果,使他获得比萨大学数学讲师的职位。

不久,他以其反对当时科学中的错误的论点而树敌。依照流行的传说,伽利略使重物从比萨斜塔下落以证实他关于落体的观点(见:**万有引力**)。可是,在他的著作中并未提及这样一个实验。总之,由于一些人对他的观点的愤恨,迫使他于1591年离开比萨。

1592年,帕多瓦大学提供伽利略数学教授的职位。约1609年,在听到荷兰人汉斯·李普希新发明的望远镜的传说后,他制造了一台自己构思的望远镜。1610年1月7日他用望远镜看到木星的4颗卫星之前,一直在研究提高望远镜的放大率。他还看到月球上的山脉和环形山,并发现银河是一个密集的恒星群。1610年9月,伽利略迁到佛罗伦萨,作为哲学家和数学家在那里居住了许多年。1609年,开普勒根据哥白尼的学说发表了他的行星运动三定律(见:**开普勒**)。伽利略强有力地支持这个观点。1616年,他接到该学说有违教会教义的正式警告。然而,他在《关于托勒密和哥白尼两大世界体系对话》一书中再次支持了哥白尼的观点。

在他生命的最后8年中,伽利略因"支持和宣讲"哥白尼学说而被软禁在佛罗伦萨附近的家中。1637年,他双目失明,但仍继续工作到1642年1月8日离开人世。几乎342年之后,教皇约翰·保罗二世为伽利略平反昭雪,而且天主教会最终承认了他的主张。

伽利略对力学的贡献包括:发现落体定律及抛射体的轨道为抛物线;演示和论证平衡定律及浮力原理。他发明了简单的温度计,并鼓励他的学生伊万杰里斯塔·托里拆利发明了气压计。他对科学思想的伟大贡献是惯性原理。在他出世之前,人人信奉亚里士多德的论说——任何运动着的物体都必须在外界的连续作用下才能维持其运动。与此相反,伽利略的论说是,如果让一个正在自由运动的物体停止下来或使其改变运动方向,就必须要有外界的作用。

开普勒 KEPLER, Johannes (1571-1630) 文艺复兴时期的天文学家和星占学家。开普勒以发现太阳系的地球和其他行星在椭圆形轨道上绕太阳运行而闻名。他也是第一个正确阐明人们如何能够看见并用实验说明光进人望远镜时会发生什么现象的人。另外,他设计了一具装置,可作为近代折射望远镜的基础。

开普勒1571年12月27日诞生于符腾堡公爵领地内的威尔城(在今德国南部),幼年体弱多病,但资质聪慧。他在杜宾根大学受天文学家哥白尼的学说影响至深。以后,他在奥地利格拉茨大学讲授天文学和数学。与此同时,在那里他同当时另外两位大天文学家伽利略和第谷·布拉赫有书信往来。1600年在布拉格,他成为第谷的助手。

第谷一去世,开普勒就继他之后任波希米亚国王鲁道夫二世的星占学家和天文学家。他的首要工作是在王室中的成员出生和重要事件发生时进行占星问卜,其次才是天文学方面的工作。然而开普勒还是尽可能地利用一切可以支配的时间研究当时悬而未决的天文学问题。

到开普勒时代,不少天文学家已经承认太阳是太阳系的中心,且地球绕其轴自转,但是他们仍然认为行星在圆形轨道上运动。因此,他们不能科学地阐明从地球上看到的行星运动现象。

开普勒决定通过寻找其他形状的行星轨道来阐明这些行星的运动。因为火星提供的问题最为典型,而且他有第谷观测该行星的精确资料,所以开普勒从火星开始研究。为了计算火星的运行位置,他对圆周运动各种可能的组合做了尝试。虽然一次误差只有8′,但是这些尝试都遭到失败。他说:"就凭这8′差异,我们将创建一个可以阐明所有行星运动的新理论!"

6年后,他在视力微弱和当时数学方法拙劣的拖累下,终于找到了答案。火星沿椭圆形轨道运行,其速率随该行星至太阳的距离而变化。他的这些工作成果刊布在1609年出版的《新天文学》一书中。

然后,他把注意力转向其他行星,发现它们的运动同火星的运动是一致的。他还发现,它们的公转周期——绕太阳一周所需的时间——同它们至太阳的距离有精确的关系。

开普勒在行星运动方面的重大工作成果被归结为3个原理,即所谓开普勒行星运动三定律:(1) 所有行星的运动轨道都是椭圆,太阳位于椭圆的一个焦点;(2) 行星在其轨道上的速率变化使得太阳中心到行星中心的连线在相等的时间内扫过相等的面积;(3) 行星绕太阳运动的公转周期

的平方同它们至太阳的平均距离的立方成正比。这 3 条定律消除了地球和其他行星绕太阳运行的全部疑问。后来艾萨克·牛顿爵士利用开普勒行星运动三定律建立了他的万有引力定律。

这时开普勒就能继续进行修订《鲁道夫星表》的工作了。《鲁道夫星表》是一本记述众天体位置的历书，虽有不足之处，但在当时是最好的。开普勒的 3 个新定律使他能按期按时预告行星的位置，即使时至今日也证明是非常准确的。

开普勒是最先由伽利略告知关于伽利略发明望远镜的人之一。随后开普勒就在光学领域中继续进行有价值的开拓性工作。发明当代形式的天文望远镜的人就是开普勒。1611 年出版的光学著作《光学》是该类书中的第一本，该书奠定了科学研究光和透镜的基础。1630 年 11 月 15 日开普勒在巴伐利亚的雷根斯堡与世长辞。

卡西尼 CASSINI, Gian Domenico

(1625 - 1712) 意大利裔天文学家卡西尼是法国一个四代科学家族的头一代，这家族一代接一代地历任巴黎天文台台长。卡西尼经过对木星卫星行经木星与太阳间时的影子的观测，量得木星的自转周期，即该行星每绕其自转轴转一次所用的时间。

在 1666 年，对火星做类似的研究后，卡西尼又测出了该行星的自转周期，从现在看，其准确度在 3 分钟以内。两年后，他编制了木星卫星的星位表，该表在 1675 年被另一天文学家（O. C. Römer）用来建立了光速有限说。卡西尼在 1675 年发现了土星的 A 环与 B 环之间存在着暗缝。该暗缝后来被称为卡西尼环缝。他的土星的光环是由无数每个小得看不见的颗粒所构成的理论后来被证实。在 1671 年和 1684 年间，他发现了土星的 4 颗卫星。

卡西尼于 1625 年 6 月 8 日，生于意大利热那亚的佩里纳尔多。经该城的耶稣会员的培育后，他于 1650 年成为波伦亚大学的天文学教授。1671 年，卡西尼被任命为新建的巴黎天文台的台长。他于 1673 年成为了法国公民，易其名为 Jean - Dominique 卡西尼。他于 1712 年 9 月 14 日卒于巴黎天文台。

卡西尼之子雅克·卡西尼于 1716 年刊布了最早的土星卫星的运动轨道表。雅克之子塞扎·佛朗哥宜斯·卡西尼继续从事由其父首创的工作，开始制作一大的法国地形图。他的儿子雅克·多米尼克·卡西尼，完成了由其父始制之法国地图。

雷恩 WREN, Christopher (1632 - 1723)

为他所处时代最有头脑的人之一，克里斯托弗·雷恩可在多个领域中出名。在 30 岁前，他已是一位天文学教授了。由于偶然而非其心愿而使雷恩成了一名伟大的英国建筑师。

雷恩 1632 年 10 月 20 日，生于英国西南东诺伊尔的威尔特郡中的一小村中。他父亲先是温莎宫的主管和英国查理第三的随军教士，后为该村教堂的教区长。雷恩小时候就对科学，特别是数学和天文学，有很深的兴趣。1649 年，他进了牛津大学的威斯敏斯特学院，对这些的兴趣不减。

雷恩一直对建筑有兴趣，他是一位超级的制图师，但并不自以为是一个专业建筑师。1661 年 - 1673 年，他是牛津大学的天文学教授。他最早设计的建筑是剑桥大学彭布罗克学院的一所小教堂，完成于 1665 年，并于 1669 年完成牛津的谢尔登剧院。他费时几年为计划重建旧的伦敦圣保罗大教堂而工作。他于 1665 年曾访问过巴黎，视察了巴黎最有价值的一些建筑。回英国之后，他就重新着手解决恢复旧的伦敦圣保罗大教堂。后来 1666 年伦敦大火，烧毁了该大教堂以及许多教区的教堂和伦敦中心大部分地区。他就立即提交了重建该城市的新计划，其中提供了：宽阔的马路，广阔的广场和长长的林荫路景。后其计划虽被取消，但雷恩仍埋头于设计伦敦城新圣保罗大教堂和其他 52 座教堂的工作。该大教堂到 1675 年才着手修建，到 1710 年方告落成。其他的市区教堂在 1670 年才正式动工。这些教堂的内部装置与装潢由每教区自己负责，尽管得时时向雷恩请教。雷恩最主要的贡献是在建塔上，其中表现出多种多样的创新。经他设计的最堂皇的经久建筑有：伦敦附近的汉普顿法院楼（1689 - 1694）和格林尼治医院，后者现为皇家海军学院（1696 - 1716）。

雷恩曾结过两次婚，每位妻子为他生下一个孩子。在 1668 年，他被任命为皇家工程的总监督，1673 年被封为爵士。雷恩曾两度任国会议员——1685 年 - 1687 年和 1701 年 - 1702 年。在成堆的荣誉面前，他无动于衷；对怀有妒忌的对手对他的攻击，他很少作出反应。雷恩到 90 岁而终，葬于圣保罗大教堂中。当时并未在其墓前立碑，但在教堂之一大门入口的上面，刻有他的墓志铭：来访者，如果你想找一块纪念碑，那你就四面看看吧。

哈雷 HALLEY, Edmond (1656 - 1742)

英国天文学家和数学家，他首先算出后来以他名字命名的哈雷彗星的轨道。他鼓励过牛顿爵士去完成《自然哲学的数学原理》一书，后于 1687 年由哈雷自费将其出版。（参见：彗星；牛顿）

哈雷 1656 年 11 月 8 日，生于伦敦附近肖尔迪奇之哈格斯顿。他一开始在伦敦圣保罗学堂受教育，于 1673 年进入牛津大学之王后学院。在那里，他获悉了格林尼治天文台中的弗兰斯提德计划，即经用望远镜观测天空后编成北天可见的恒星图表。哈雷由此而提议同样将其施之于南天。他未取得学位就离开了牛津大学，而于 1676 年航海到南大西洋中的圣赫勒纳岛。哈雷的观测结果于 1678 年以星表的形式发表，使他成了一位出色的年轻天文学家。哈雷，有时用他的名字埃德蒙，于 1686 年发表了第一个气象图表和第一个大西洋和太平洋区的地磁分布图，后者在他死后多年尚用于航行中。他继续从事其观测天文学的工作，于 1705 年出版了《彗星天文学论述》一书，其中描述了 24 颗彗星的轨道。

他曾准确预断彗星——现哈雷彗星——再次出现的时

间,在此之前,它曾于 1531 年、1607 年及 1682 年被观察到。哈雷 1742 年 1 月 14 日,在格林尼治去世。

赫歇耳 HERSCHEL, William (1738 - 1822)

近代恒星天文学的奠基人是德国出生的风琴师威廉·赫歇耳。赫歇耳于 1781 年发现了天王星,这是自古以来(在金、木、水、火和土五星外)人类首先确认的一颗大行星。赫歇耳发展了星云构造与恒星演化的理论,对许多双星分类,和对反射望远镜作了重大的改进。他还证实太阳系在太空中运动,并发现了红外辐射。

赫歇耳于 1738 年 11 月 15 日,生于德国的汉诺威。他 21 岁时作为乐师迁居英国,后来他教音乐,写交响曲,也当过乐队指挥。赫歇耳在年轻时即对太阳进行过观测,但直到 43 岁时,才成为一位专业天文学家。

他用他首制的反射望远镜发现了天王星。这发现致使英王乔治第三聘任他为宫廷天文学家,使他得以全力以赴地研究恒星。他于 1816 年受封为爵士。通过对双星的观测,赫歇耳证实:引力支配双星和太阳系。赫歇耳于 1822 年 8 月 25 日,在英国的斯劳去世。

威廉·赫歇耳之子约翰·赫歇耳继承父业而继续研究双星,并在南非好望角处,对南天星际首次用望远镜进行观测研究(1834 - 1838)。他也是一位化学和物理学家,对摄影学、光谱分析和结晶学,都作出过贡献。

米切尔 MITCHELL, Maria (1818 - 1889)

美国最早的一位女专业天文学家。她受其父鼓励,对科学和数学深感兴趣,导致她后来成为一自学成材的天文学家。

米切尔于 1818 年 8 月 1 日,生于美国马萨诸塞州的楠塔基特岛。在青少年时,她就开始在白天当楠塔基特图书馆的管理员,同时阅读一些数学和科学书籍而自学天文学,晚上则经常用其父的望远镜研究星空。1847 年 10 月,她发现了一颗新彗星而引起全世界的注意,一年之后,她就被美国文理学会选为该会第一位女会员。

1845 年,米切尔被任命为纽约州波基普西的瓦瑟学院的天文学教授和该处天文台的台长。1873 年,她促建了美国妇女促进会。米切尔是对太阳黑子作每日拍摄的先行者,她首次发现它们并非太阳云,而是太阳表面上的气体旋涡。她还对日食、双星、星云和土星与木星之卫星,进行过研究。

米切尔于 1889 年 6 月 28 日,在马萨诸塞州的林恩去世。1905 年,她以第一位名妇女而被选入了名人堂。在楠塔基特岛上,有专为纪念她而建立的天文台。

纽科姆 NEWCOMB, Simon (1835 - 1909)

加拿大裔美国数学家和天文学家,以其对天文学所作出的宝贵贡献而闻名。当纽科姆在哥伦比亚特区华盛顿的美国海军观测台工作时,他曾校正过天文常数和星历表,或某些天体的运动与位置的表,其中有不少是供航海参考的恒星。

纽科姆在 1835 年 3 月 12 日,生于加拿大新斯科舍省的沃拉斯。在 18 岁时,他迁居到美国的马里兰州,并对天文学手册《美国星历与航海年历》发生了浓厚兴趣。1857 年,他曾在麻省剑桥之美国航海年鉴办公室中工作。那时,他进了哈佛大学的劳伦斯科学学校学习,于 1858 年毕业。在 1861 年,他被委任为美国海军的数学教授团成员而被派赴华盛顿天文台工作达 10 年之久。

在 1877 年,纽科姆成为航海历书局局长,他开始做重整所有主要参考天体运动理论和其位置表的艰巨工作。他的研究结果,发表于《美国星历与航海年历》(1879)。其表曾用来计算大多数天体在白天的位置达 60 多年之久。

纽科姆曾任约翰·霍普金斯大学的数学和天文学教授(1884 - 1893),并且是美国天文学学会的创立人。1906 年,他晋升为海军少将。他于 1909 年 7 月 11 日,在哥伦比亚特区华盛顿去世。

坎农 CANNON, Annie Jump (1863 - 1941)

被誉为"天空普查员"的美国天文学家,她发展了恒星按其光谱分类的哈佛系统。

坎农于 1863 年 12 月 11 日,生于美国特拉华州的多佛。上了威利斯与拉德克利夫两学院后,她加入了哈佛学院天文台的工作团体,此后一生便在该处工作。

利用她的根据恒星表面温度所得到的光谱分类系统,她证实:大多数恒星可分为很少的一些类型组,这些类型可排成一连续序列。她把取得的 225 300 颗恒星的光谱加以分类,从 1918 到 1924 年在《亨利·德雷伯星表》上发表。其中包含几乎所有亮于 9 等或 10 等的恒星的分类光谱。(见:**天文学**)

靠一眼就能认识恒星在总序列中所处的特性,坎农将差不多 400 000 颗恒星分了类。她还发现了 300 多颗变星和 5 颗新星(见:**恒星**)。她是第一位被牛津大学授予荣誉博士学位的妇女。坎农继续做她的研究工作,直到她 1941 年 4 月 13 日在马萨诸塞州的剑桥去世为止。

阿尔文 ALFVÉN, Hannes (1908 -)

有影响的瑞典天文学家。他和法国的路易斯·奈耳共同获得 1970 年诺贝尔物理学奖。他的主要成就是开辟了等离子体物理学领域,即对含有带电粒子的气体混合物的研究。

1908 年 5 月 30 日阿尔文生于瑞典的诺尔雪平镇。他在瑞典的乌普萨拉大学就学。1934 年,在这个学校获博士学位。

阿尔文证明,在一定条件下,等离子体将束缚在通过它的磁力线上,所以等离子体和磁场一起运动。1939 年阿尔文发表关于磁暴和极光的理论。在这理论中他引进一种数学近似方法,此后这一方法被广泛应用,使计算带电粒子在磁场中的复杂运动变得容易了。

他的思想还被用来研究太阳黑子和宇宙线;近年来,还应用于受控热核聚变中的等离子体问题。阿尔文也对解释太阳系的起源做了许多工作。

在反对瑞典发展核的行动中,阿尔文离开了这个国家去国外讲学。后回国并在斯德哥尔摩的皇家工学院任教授。从 1940 到 1973 年他都在那里任教。从 1967 年起,他

也在圣迭戈的加利福尼亚大学任教。

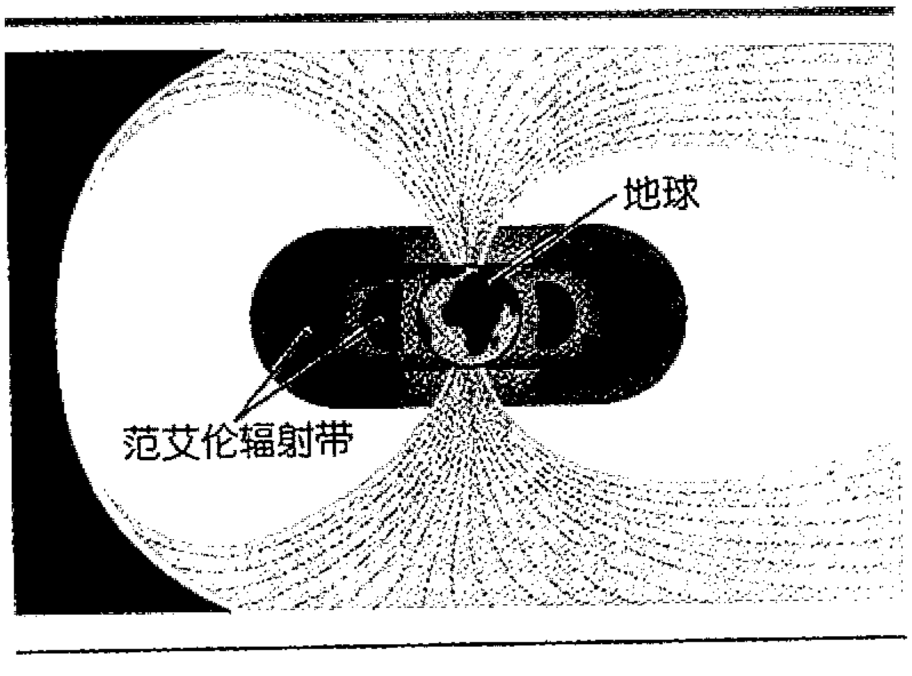
范艾伦 VAN ALLEN, James A.

(1914 年-) 空间探测器在 20 世纪 50 年代后期的主要发现之一是提供了发现环绕地球的两个庞大的强辐射带的信息。这两个带形如环形,内带由高能质子形成,外带由高能电子和其他粒子形成。这些带都是地球磁层——围绕地球的梨形磁区的一部分。内层和外层由一个狭槽分离,狭槽是一个辐射强度较低的区域。这两个带从离地面几百千米高,上伸到几千千米外的空间。这些辐射带也称范艾伦辐射带,因为他的工作有助于上述发现。

詹姆斯·艾尔弗雷德·范艾伦 1914 年 9 月 7 日出生于衣阿华州芒特普莱森特。他的父亲是一位律师。范艾伦自小好学,对科学有很高兴趣。1931 年,范艾伦进入芒特普莱森特的衣阿华韦斯利恩学院,开始学习物理和化学,并获得学士学位。他在艾奥瓦大学获得硕士和博士学位。从 1939 到 1942 年,他是哥伦比亚特区华盛顿卡内基研究院的研究人员。在二次世界大战期间,他是海军军官,协助开发海军炮弹的无线电起爆引信。

战后,范艾伦任霍普金斯大学应用物理研究所高空研究的领导。在那里他用俘获的德国 V-2 火箭做研究,并主持航空蜂(Aerobee)火箭的设计,用做较高空大气探测。国际地球物理年(IGY)的初步计划(1957 到 1958)就出自 1950 年在他家中的一次科学讨论会。

1951 年,范艾伦回到衣阿华大学,任物理系主任。在那里他领导多项宇宙线研究。他从气球上发射火箭到达 16 到 24 千米的高层大气。他为国际地球物理年中发射的美国卫星设计并制作了有效仪器负载。这些卫星将关于外部空间情况的无线电报发给地面收听站。1958 年 1 月 31 日,第一颗美国人造地球卫星探险者一号进入轨道。它就装备了范艾伦的仪器。"探险者"系列的其他卫星相继带着这类仪器升空。"先驱者"月球探测器系列,也带了范艾伦的仪器。这些仪器发现了这两个辐射带。



环形范艾伦带的剖面显露出地球,地球位于辐射带的中心。它们是一个称为磁层的大辐射区的一部分。

以后,范艾伦参与研究行星和太阳物理的许多空间探测器的工作。1959 年,他被选入美国科学院。1982 年他当选为美国地球物理学联合会的主席。

萨根 SAGAN, Carl

(1934-) 美国天文学家。他用长波紫外线照射甲烷、氨、水和硫化氢气体的混合物,获得生命的主要成分——氨基酸,为人们了解在地球原始环境中生命的起源提供了宝贵的知识。

卡尔·萨根 1934 年 11 月 9 日生于纽约州布鲁克林,他在那里成长。1951 年在新泽西州罗韦的中学毕业。1960 年获芝加哥大学博士学位。曾在加州大学伯克利分校和哈佛大学任教。1962 - 1968 年在史密森天体物理天文台工作。

1966 年萨根与詹姆斯·B. 波拉克和理查德·M. 戈尔茨坦合作,用雷达研究火星,证明火星上可能有高达 10 千米的山脉。根据观察金星的材料,他与波拉克证明金星的表面温度为 427℃。1968 年他调到康奈尔大学任行星研究实验室主任,倡导向金星和火星发射几种无人驾驶的空间探测器。他的著作很多,其中有《伊甸园之龙》(1973)、《布罗卡的头脑》(1979)和《宇宙联系》(1985)。萨根也是 1980 年首次播出的 13 集通俗宇宙电视系列讲座的主持人。

地球科学 EARTH SCIENCES

研究固体地球、地表水和地下水,以及地球周围的空气的科学叫做地球科学,地球科学包括地质科学、水文科学和大气科学,它们分别研究地球本身、水和空气的性质及行为。(参见:**地球;地质学;海洋;大气**)

地球科学基本上是物理科学,它利用了数学、物理学、化学以及在较小程度上的生物学等学科的进展。地球科学利用的观测资料大多数是全球范围的,正因为这个缘故,地球科学的许多问题只有在对地球表面的探测取得很大进展后才能进行研究。因此已经大量使用了卫星观测资料。与地球科学密切联系的研究领域有:地理学和地形测量学,它们涉及地球的物理特性的描写和阐述;还有人类与环境在经济和社会方面的相互作用;以及测量地球的科学——大地测量学。

地质学包括若干分支学科。其中地貌学研究大陆和山地地表起伏的特征、成因和变化过程。地球物理学研究地球的物理现象,例如地球磁场、地球内部热的流动以及包括潮汐在内的引力。地震学研究地震。地球化学研究地球的化学组成以及地球内部元素的分布规律。(参见:**大陆;山地;地震;矿物;岩石**)

研究大气的气象学,特别是天气预报,可以看做是研究地球大气的行为和性质的大气物理学的一个分支。卫星观测在收集气象资料方面已经证明有巨大的效用,高效能的计算机用来分析由此获得的大量资料。研究过去的和现在的气候的气候学从事的是比气象学家调查的天气变迁时间更长的天气变迁。现在已经证实它对预报荒漠和冰川地带可能的未来发展具有重要的实际意义。(参见:**气候;云;荒漠;天气;风**)

水文学研究的是大气中的水和地球表面上的水的循环（见：水）。术语地表水是指土壤和基岩里的水。它们与湖泊及江河的水共同成为为人类提供淡水的主要来源；此外还有冰川。研究海洋的海洋学，最初是为航海和捕鱼提供帮助而建立起来的。（参见：**冰川；湖泊；海洋学；河流**）

地球 EARTH

作为人类之家的地球是一个行星。和同属太阳系的另外 8 个行星一样，它沿着固定的轨道环绕太阳转动。太阳系里的每个行星都有各自的特征，其中有些特征不仅科学家熟悉，一般人也知道。例如土星的周围有一个环，木星是太阳系各个行星里最大的。地球也有它的特征，这些特征对人类来说是很重要的。它有合适的温度、合适的大气，因此它是具备能够维持人们所知生命类型的已知的惟一行星。（参见：**行星**）



地球的特征造成了植物以及人和其他动物得以生存的环境和自然资源。这个事实对人类来说是如此重要，以致人们专门发展了一门科学叫做生态学，研究一切生物之间以及它们与环境之间相互依存的关系。生态学家试图找到保护地球上的环境的途径，使得生物能够在这个行星上继续生存下去。

有些科学家相信，在包括地球在内的银河系里几百万个行星上可能存在生命。但是没有人能够预言这种生命会以什么样的形式出现。从地球上生命形式的巨大的多样性就可以理解作出这种预言的艰难。地球上的植物和动物有几百万种。它们大小不同，小的有小到在显微镜下才能看到的植物和动物，大的有参天的大树和庞然大物的鲸。有的植物或动物可能在世界上许多地方都是常见的，也有的可能只局限在某个小范围里。有些生物种类在某些条件下繁荣兴旺，而同样的这些条件对其他的一些生物却是致命的。所以有人设想在与地球的情况差别极大的行星上，也许会有与地球上已知的生命形式完全不同的生命存在。

许多人相信地球是太阳系里惟一能够维持任何生命的

行星。科学家们曾经有一种理论，认为在火星的表面可能存在某种原始的生命形式，但是1976年无人探测器从火星表面取得的证据表明这个理论看来不能成立。

科学家也曾相信金星上可能有生命。金星表面总是被云遮盖着，因此使人想像也许这个行星表面的温度和大气对生物是合适的。但是现在已经知道金星的表面太热，平均温度高达425℃，不可能存在液体状态的水。人熟悉的生命形式是不可能在金星上生存的。

对于生命来说，地球的条件是最好的。地球表面的温度是够低的，低到水能够以液体的状态存在。海洋实际上覆盖着整个地球表面的$\frac{2}{3}$。同时这温度又是够高的，高到长年冻结的水只占小部分——只见之于北极和南极附近以及某些高山顶峰。

地球的大气有足够的密度，动物可以舒畅地呼吸，植物也得以从中吸收它生长必需的二氧化碳。但是大气的密度也没有大到遮住阳光。尽管天空时常有云，但是到达地球表面的阳光平均量仍然足够使植物茂盛地生长。生长中的植物将太阳能转化成它们身体的化学能。植物与太阳之间的这种相互作用是地球上全部生命形式的能量的基本来源。

有关地球的一些数据

大小　赤道半径为6 378千米，极半径为6 357千米

平均密度　每立方厘米重5.522克

总质量　5.976×10^{24}千克

与太阳的平均距离　1.495亿千米

与月球的平均距离　384 393千米

地球在运行轨道上的平均速度　每秒29.78千米

地球自转在赤道上的平均速度　每秒0.465千米

大陆表面平均密度　每立方厘米重2.67克

陆地面积　148.847×10^6平方千米

海洋面积　361.254×10^6平方千米

最高山峰　珠穆朗玛峰(8 848米)

海洋最深深度　马里亚纳海沟(已探明深度)在海平面以下11 034米

虽然如此，1977年以来开始进行的大规模的海底勘探却发现了有不依靠日光能源的生物群落存在。在光线能穿透的分界线以下很深的广阔的海底扩张活动带内，例如在东太平洋的中心地带，有称为黑烟囱的烟囱状的结构，它喷射出高达350℃的充满矿物质的热泉。

观察和研究这些有活动的和没有活动的热液火山口，从根本上改变了有关发生在深海中的许多生物学的、地质学的和地质化学的过程的观念。其中一个最重要的发现是火山口以及与之相联系的化学成分为化学合成细菌提供了能源。这些细菌作为食物链的底层，反过来，它又支持着热液火山口部位茂盛的生物群落。化学合成细菌利用从无机化合物(例如硫化氢)的氧化作用中取得的能源，固定二氧化碳成为有机物。

虽然大气允许阳光到达地球表面，但是它却挡住了一部分太阳辐射，特别是X射线和紫外线。这些辐射是十分有害的，如果大气层不把这些辐射滤去的话，也许地球上任何形式的生命都不会出现。所以地球表面具备的正是这些生命形式必需的条件。它们是水、恰当类型的大气，以及恰当数量和恰当类型的阳光。地球是太阳系里人们知道的具备上述全部恰当的条件的惟一的行星。

地球在空间的位置

地球虽然具备自己的特殊条件，但是它与其他内行星——离太阳比较近的一组行星——还有某些相似的方面。在这一组行星里，水星离太阳最近，金星第二，地球第三，火星第四。包括地球在内的这几个内行星基本上都是岩石球。水星最小。它的直径大约相当于大西洋最宽阔地方的$\frac{2}{3}$。火星比水星大一些，但是它的直径只比地球直径的一半稍微大一点。金星的直径大约为12 000千米，大小与地球差不多。

5个外行星之中有4个都远比任何一个内行星为大。最大的是木星，它的直径比地球的直径大11倍还多。这4个外行星比内行星的密度却小得多。它们像是由地球上以气体状态存在的物质构成的球形物，但是由于外行星上的低温和高压，这些物质主要处于固体状态。

距离我们最远的行星冥王星的大小或质量还是个未知数。它的组成成分也还是一个谜。关于冥王星知道得最确切的一点是它的运行轨道。冥王星与太阳的平均距离几乎是地球与太阳距离的40倍。

在太阳系最外围的是一些彗星。彗星的彗核是由冻结态的气体和水以及矿物质微粒构成的。它的彗发是气体和尘埃颗粒。有些彗星还有彗尾。彗尾由来自彗发的气体和尘粒组成。当彗星靠近太阳的时候，来自太阳的光和太阳风使彗星形成了彗尾。正是因为这个缘故，一般说来彗尾总是朝着背离太阳的方向的。

行星的运动

包括地球在内的每一个行星都沿一定的轨道环绕太阳运行。古代的天文学家认为行星的轨道是圆的。现在已经知道虽然多数行星的轨道几乎是圆的，其实这些轨道是椭圆形的。地球轨道的偏心率——偏离正圆形的程度——很小。水星和火星的轨道偏心率较大。只有冥王星才具有典型的椭圆形轨道。

离太阳近的行星运动的速度比离太阳远的行星的运动速度快。水星距离太阳最近，大约3个月就能绕太阳一周。

冥王星距离最远，绕太阳一周要 248 年。

有关空间的一些数据

最大的行星 木星，赤道直径为 142 796 千米

最小的行星 水星，赤道直径为 4 878 千米

密度最大的行星 地球，平均密度约为水的 5.5 倍

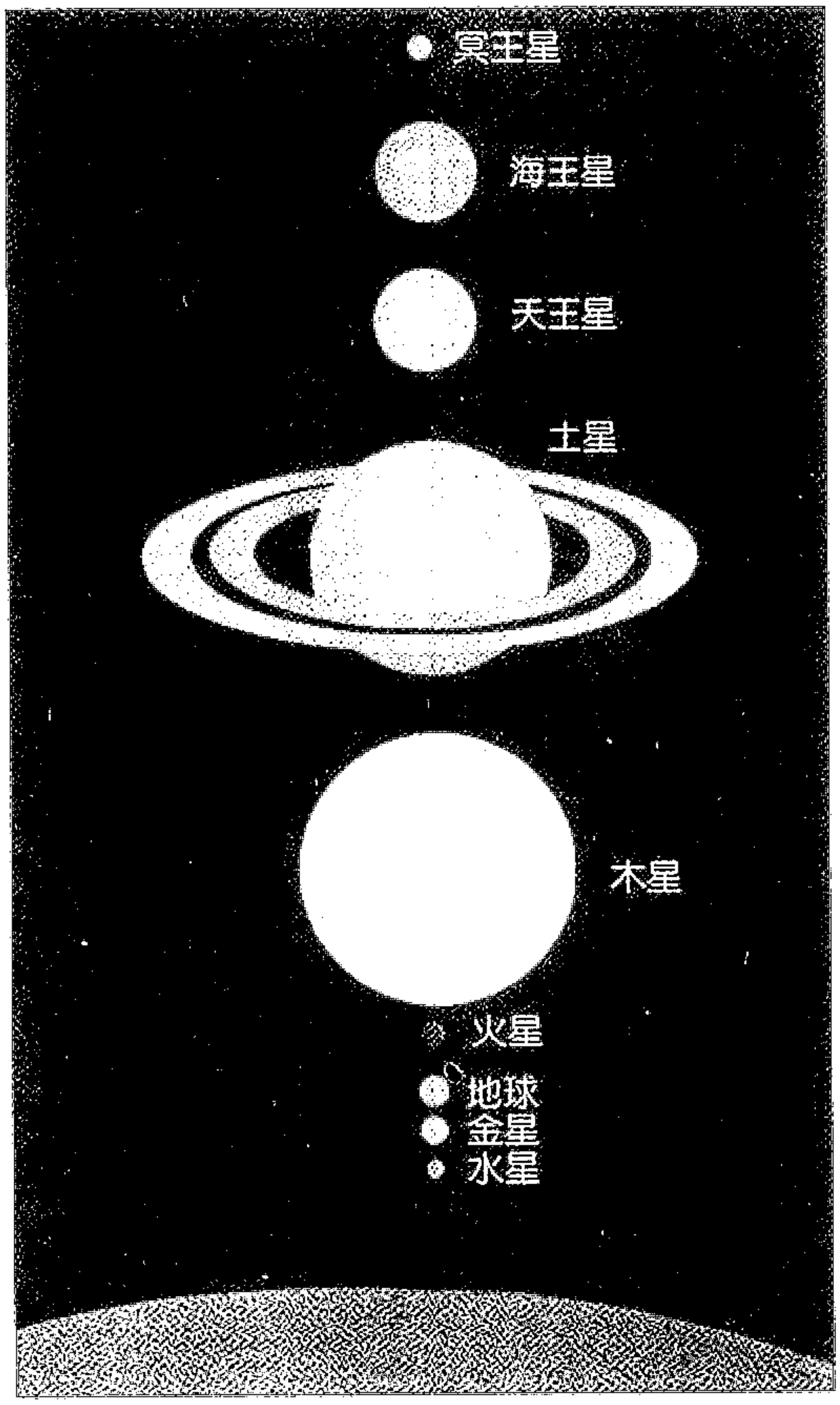
最轻的行星 土星，平均密度约为水的 0.72 倍

最近的恒星（除太阳外）南门二（即半人马座 α）三合星，距地球约 4.3 光年 （4.07×10^{13} 千米）

最明亮的恒星 天狼星（大犬座 α）

最大的小行星 谷神星，位于火星与木星之间，直径约 1 023 千米

肉眼能观察到的最远的天体 仙女座星系，距离地球 220 万光年（2.08×10^{19} 千米）



这张图表明各个行星相对的大小以及它们与太阳远近的顺序。它并不表示各个行星之间的距离或者它们与太阳的距离。

对人来说，地球好像是固定不动的。我们没有动的感觉，很难意识到地球在空间环绕太阳转圈的时候跑得有多么快。地球环绕太阳转一圈要用一年时间，这似乎算得是相当慢的了。其实地球在轨道上运行的平均速度达到每秒 29.78 千米，或者说每小时 107 200 千米。

银河的大小和运动

地球和其他行星环绕太阳运动，而太阳自己又在一大群星组成的称为银河的星系中运行。这个银河由上千亿个恒星汇集而成。这些恒星呈圆盘形排列在一起，中央部分是球状的核，称为银河系核球。整个银河里 $\frac{3}{4}$ 的恒星都汇集在这个球状的核里。

没有人对银河做过精确的测量。尘埃云遮住了其中大部分，使人看不见，而在地球与银河中心部分之间还有许多恒星挡着我们的视线。但是科学家可以看到天空中许多别的星系。他们把看到的和他们掌握的关于银河的知识进行比较，就能大致猜测出它的大小和形状，以及它包含的恒星的数量。

银河的直径约为 100 000 光年，核球的厚度约为10 000 光年。光年是天文学家的计算单位。这个长度单位等于光在一年中走过的距离。光每秒走 299 800 千米。因此一个光年大约等于 94 600 亿千米。

银河里有几百万个类似太阳这样的恒星。在这些恒星当中，太阳的大小和温度是一般的水平。但是在太阳系内，太阳比其他任何行星都大得多。太阳的直径是 140 万千米，它的体积是地球体积的 100 万倍还要多。与太阳系最近的恒星系统是南门二（即半人马座 α）三合星，距离也有 4.3 光年。离太阳最近的大小和亮度与太阳相似的两个恒星则远在 11 光年以外。

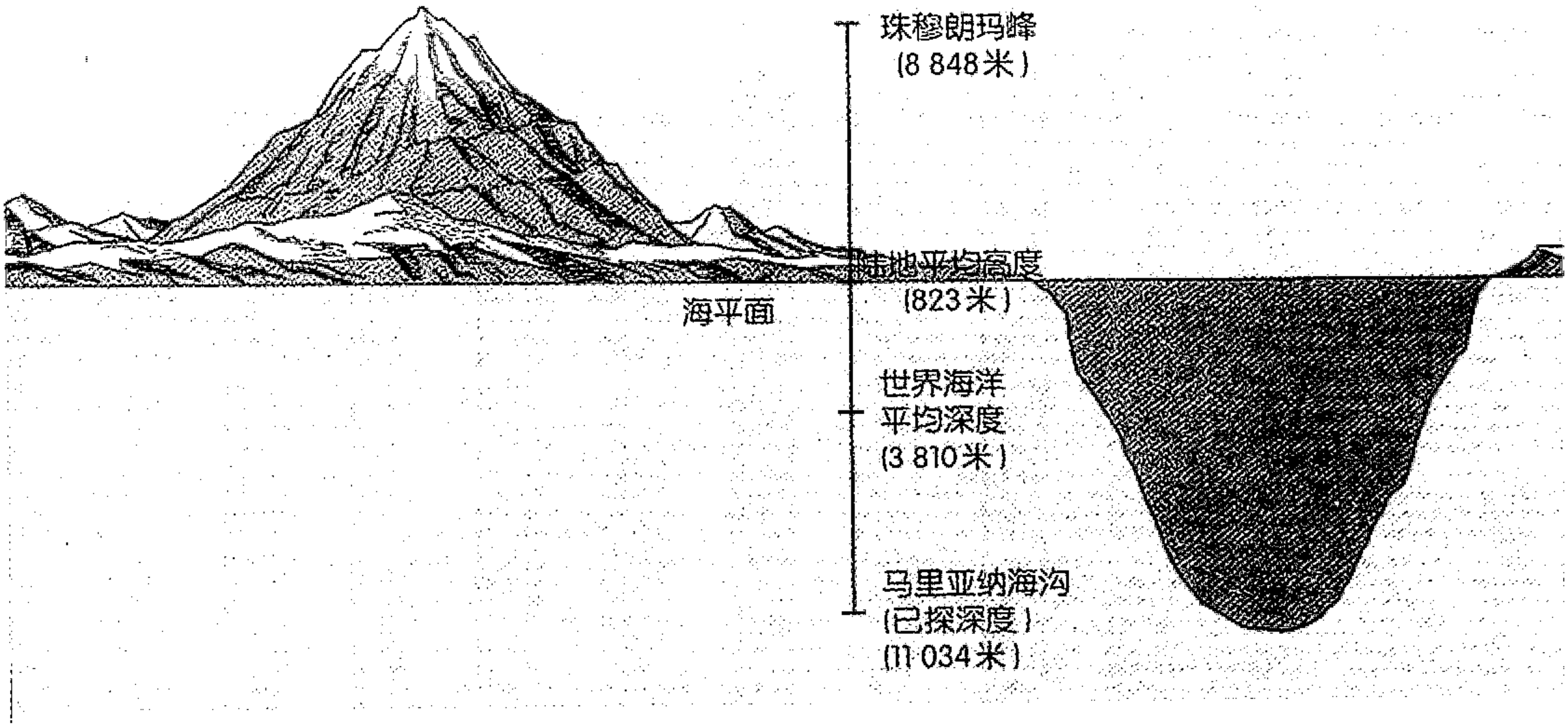
整个银河似乎在缓慢地转动。离中心近的那些恒星环绕中心转动比边缘的恒星快些，就像离太阳近些的行星在轨道上运动的速度比离太阳远的行星快一样。太阳距离银河的中心有 3 万光年远，就是说约在中心与边缘之间 $\frac{2}{3}$ 的地方。天文学家估计太阳和它的行星环绕银河一周大约要 2 亿年。

银河这个星系是称为本星系群的星系团的一个部分。本星系群共由 17 个星系组成。它们与银河的距离都不超出 250 万光年。

其他行星系统

没有人看见过其他恒星周围的行星。但是天文学家间接的测量指出，附近的一些恒星有巨大的行星在环绕它们运动。因此，看起来可能除了太阳以外，还有许多恒星在环绕它们的轨道上有它们各自的行星家族。

看来也有可能在围绕其他恒星转动的行星中间还有像地球这样的行星，它们也具备支持生命的合适的温度和大气等条件。所以虽然在太阳系里地球是独一无二的，但是银河里可能还有许多别的恒星系统，也有像地球这样的行星环绕它们的中心太阳运转。

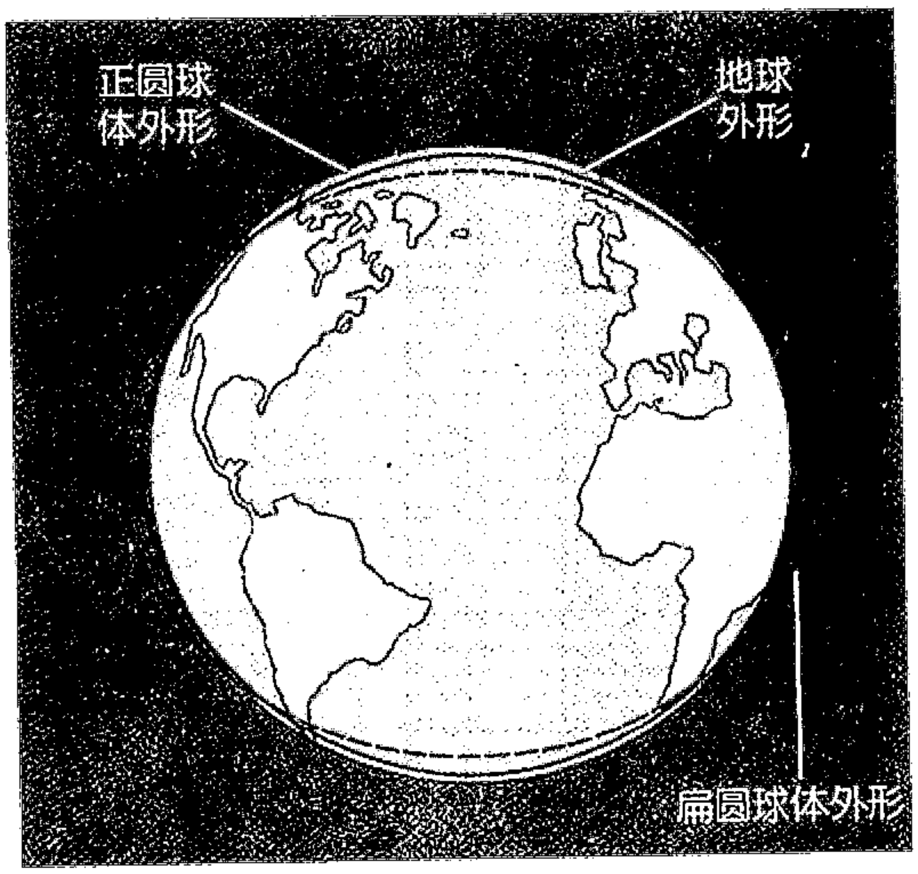


地球最高点是珠穆朗玛峰，它的海拔高度接近 9 千米。地球最深点是太平洋中的马里亚纳海沟。至今还没有人勘探过它的底部。

行星地球

人们普遍接受地球是圆形的事实已经有几百年之久。多数人心目中的地球是一个球体，像是一个固体球。事实上地球只是近似一个圆球形，并不是一个正圆形。在赤道附近它稍微有些膨胀。从海平面测量，地球在赤道的直径是 12 756.3 千米。

以海平面为准，测得北极到南极的距离是 12 713.6 千米。与赤道直径相比，二者只差 42.7 千米。但是如果与地球表面地貌的高度相比较，差距就大了。例如最高的山峰珠穆朗玛峰海拔差不多接近 9 千米。地球还有另外一个轻微的变形。南半球比北半球稍微隆起一些。二者最多相差约 30 米。



地球既不是一个正圆球体也不是一个真正的扁圆形球体，南半球略显膨胀。

最初人们测量地球的形状用的是在陆地上一里路一里路测量的方法。今天人造卫星提供了更精确更完善的测量工具。数学家仔细地测算人造卫星的轨道，并计算出地球对卫星的引力。通过这样的方式可以推算出地球的形状。南半球比北半球隆起些许的现象就是用这样的方法在计算中发现的。

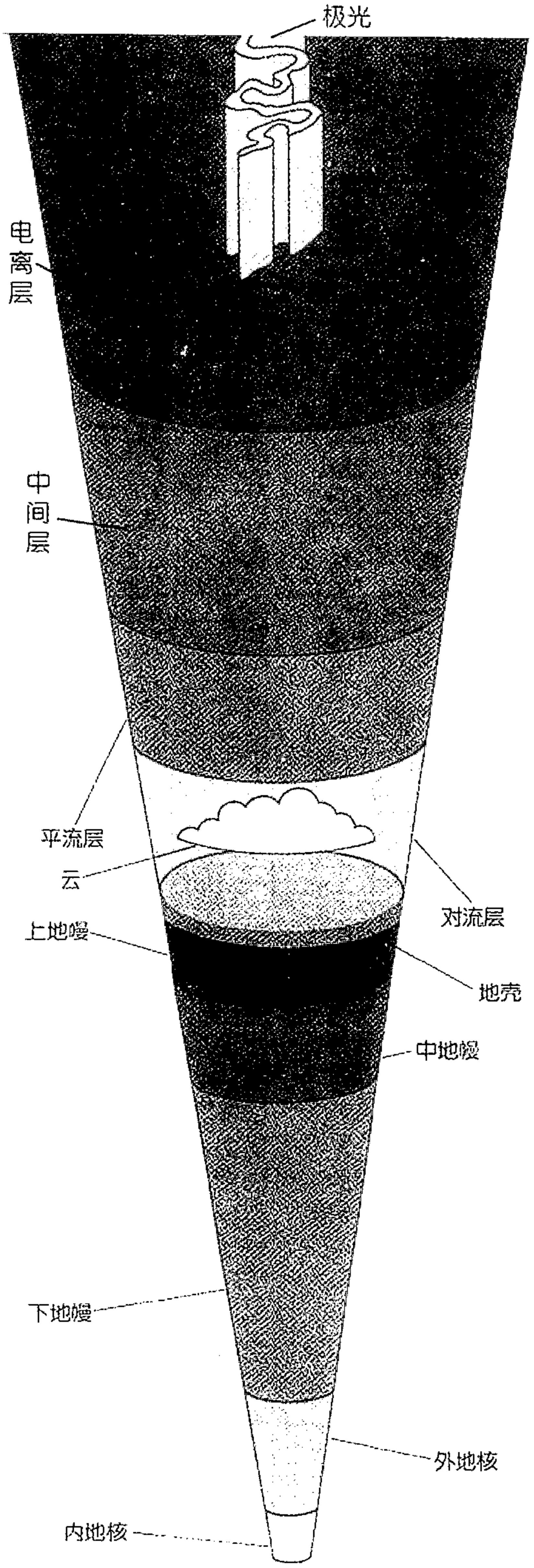
地球的质量、体积和密度

地球的质量是 5.976×10^{24} 千克。科学家用极其精确的实验室试验方法测量地球的质量。他们把放在仪器里的经过仔细测定质量的、重的铅砝码彼此靠近，测量彼此之间的引力。

按照牛顿的万有引力定律，引力是与两种物体质量的乘积成正比的。地球对实验物体的引力是不难测量的。这就是物体本身的重量。实验室里两个已知物体质量之间的引力可以通过实验测量。惟一不知道的因素是地球的质量，而这是可以很容易地通过比较测定的。

组成地壳的元素

元素	质量百分比
氧	46.60
硅	27.72
铝	8.13
铁	5.00
钙	3.63
钠	2.83
钾	2.59
镁	2.09



椎形图解显示行星地球的分层以及包围地球的大气圈的分层。本图并未显示各层相对的大小。

科学家可以算出来地球的体积，因为他们知道地球的形状。他们用地球的体积除地球的质量，得知地球物质的平均密度是每立方厘米约5.5克。

这个平均值包括从地球表面到地球中心的一切物质。但是地球上的物质密度并不都是一样的。陆地上多数物质的密度只有平均数值的半数。地心部分的物质的密度是多少还说不大准，但是目前可以获得的最有力的证据说明地心物质的密度大约是地球平均密度的3倍。

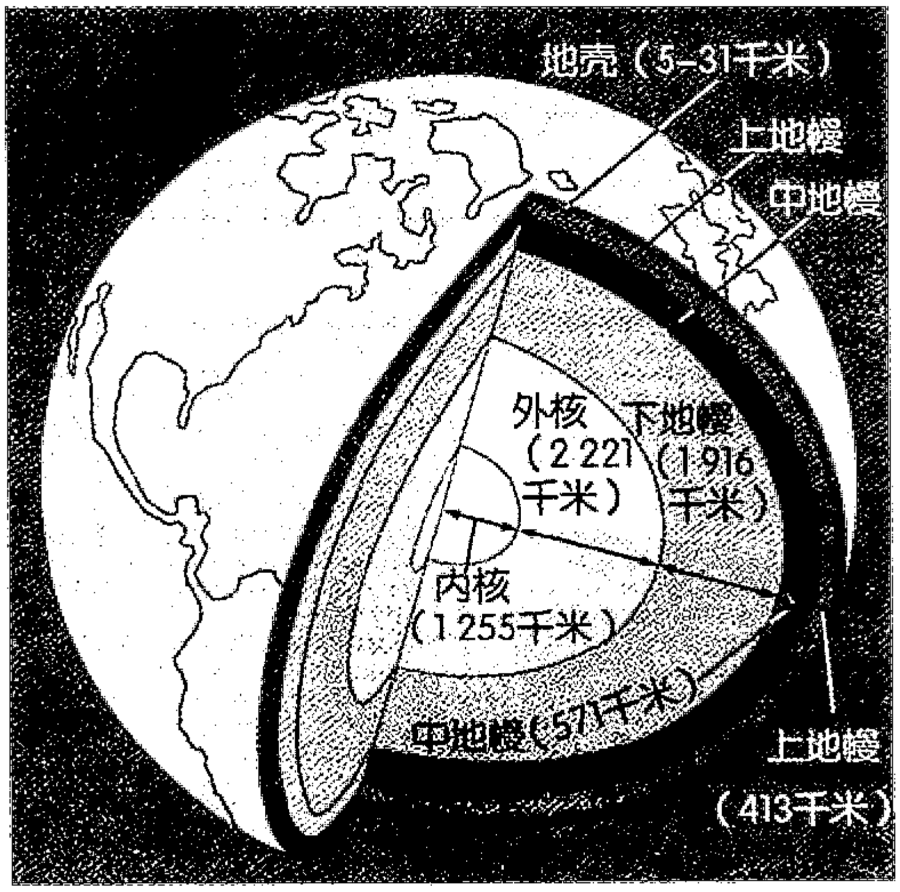
地球的分层

地球表面和地心之间的差异不仅表现于密度的不同。这两个部位的物质的性质也很不相同。实际上地球的构造是分成许多层的。

地球的结构可以分为三大层。最外边的那一层像是覆盖地球的薄薄的皮肤，称为地壳。地壳下面是一层厚厚的地幔。中心部分是地核。这三大层又各自分成一些更加复杂的构造。

地壳各部分的厚度并不相同。海洋底部地壳平均厚度是5千米，而大陆地壳平均厚度是31千米。大陆与海洋底部地壳厚度的差异是地壳的一个重要的特征。

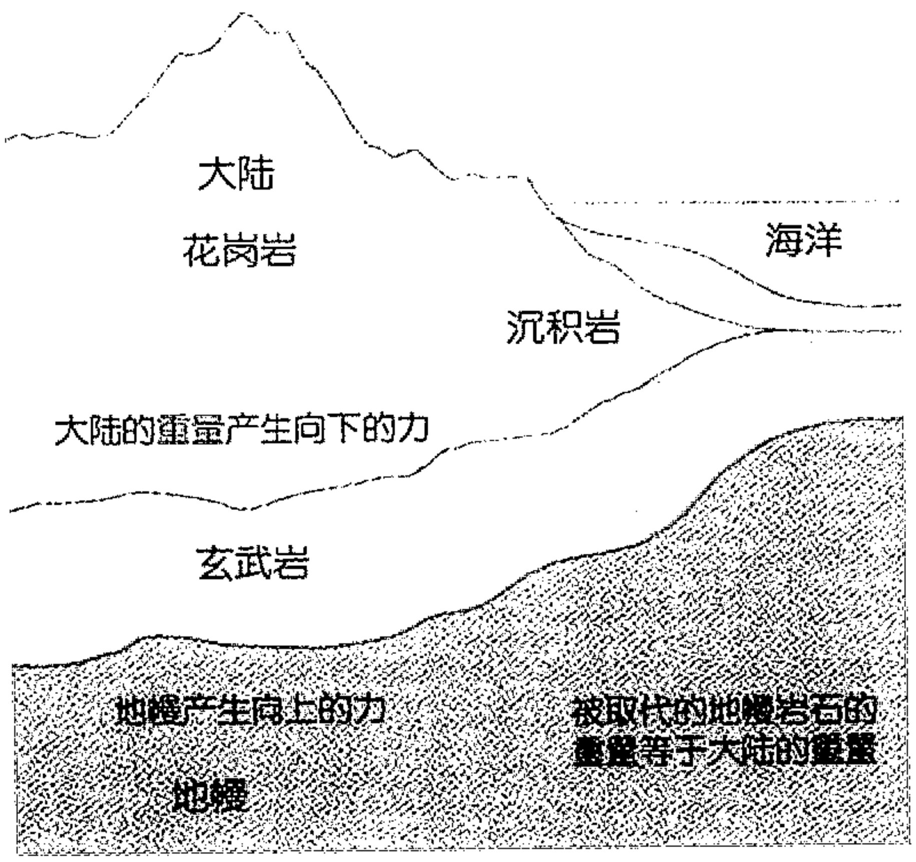
上述两部分地壳还有另外的一些差异。它们各有不同种类的岩石。大陆岩石例如花岗岩，比海洋底部的岩石例如玄武岩密度小。这两部分的构造也不同。构成海洋底部的玄武岩类型的岩石也出现在大陆的底部。这就好像是比较轻的大陆底部的岩石漂浮在更重的岩石的上方。

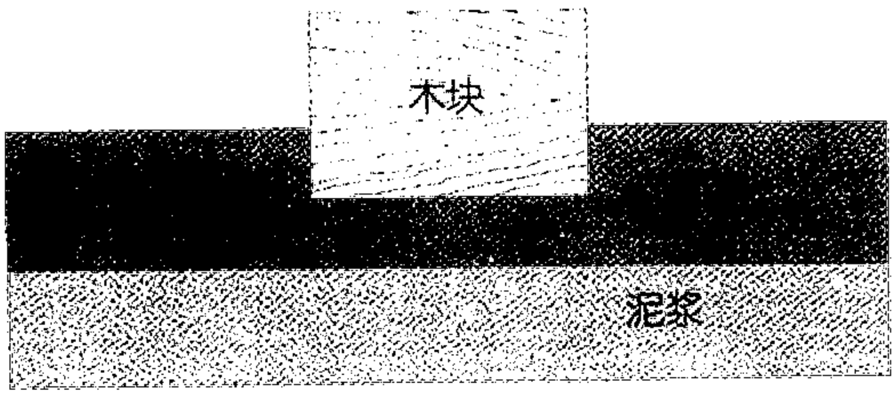


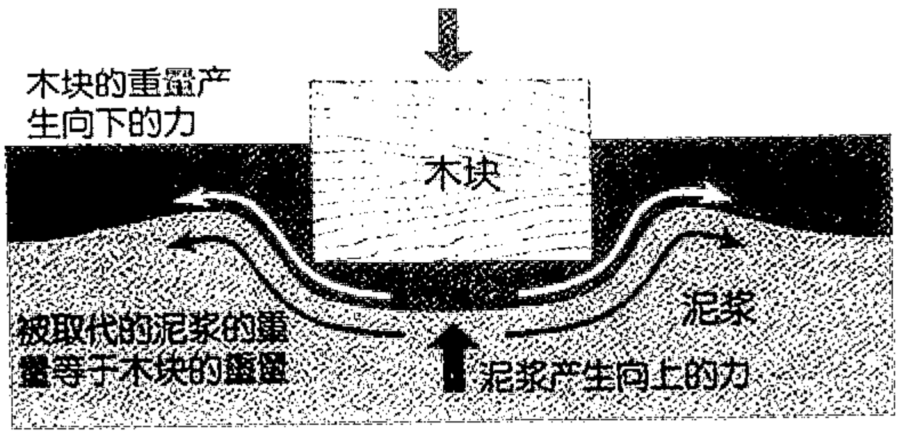
地球的球形图，切去楔形的一块，显示地球内部的分层。

现代有关地球构造的理论认为情况本来就是这样的。但是为了理解岩石的漂浮学说即地壳均衡说，必须先对地球较深层的地幔有所了解。

从来没有人看到过地幔是什么样子的。人们在大陆和海洋底部往地壳里挖掘了很深的洞，例如石油井，但是还没有一个洞打穿地壳进入地幔的。有关地幔的知识全部来自测量由地震引起的振动（即地震波）。通过这些测量，科学家可以推断出地幔的许多特征。







大陆（上图）看起来几乎是漂浮在玄武岩上的，它的重量把玄武岩向下压入地幔。用木块、柏油和泥浆做一个简单的试验（中、下图），这个试验和上图都说明地壳均衡学说。

地幔的厚度大约有 2 900 千米，可以分为三个部分。比起日常见到的物质来，岩石样的地幔物质是十分坚硬的。但是如果长时间对它施加压力，比如说持续加压几百万年，它也会稍稍作出一些退让。由此可见，如果地壳里的岩石分布逐渐发生变化，例如山上的物质受到侵蚀脱离并沉积到海洋底部，地幔会慢慢地改变，弥补地幔上方岩石重量的改变。这就是地壳均衡说。

地核从地球的中心部位向外伸展，半径约为 3 480 千米。要想了解地球内部的情况是十分困难的，所以有关它的结构的许多说法都不是定论。有些证据表明地核是分层的。内核的半径约为 1 255 千米，质地十分坚硬，但是它周围的外核却几乎是液态的。

有些科学家不同意这种有关地核的描述，因为这种说法是以不完善的地震波数据为依据的。这个理论认为内核物质的密度约为每立方厘米 16 克 - 20 克。外核物质的密度为每立方厘米 11 克 - 12 克。

地球的表面部分

对于人类生存于斯并对其表面的特性有充分认识的薄薄的地壳部分已进行了许多科学研究。地球表面的 70.8% 为海洋所占据，大陆只占地球表面的三分之一弱。

地球的陆地部分也并不全是干燥的地方。其中有些部分是湖泊、河流和坚冰。实际上干的陆地比例只占地球全部表面的四分之一弱。

咸的海洋

海洋是咸的。盐是地球上普通的无机物，它在水里很容易溶解。陆地上少量的盐分在小溪和河流的水里溶解之后被带入大海。盐就是这样聚集到海洋里的，这个过程已经延续了几十亿年。

当海洋里的水分蒸发到大气中去的时候，盐总是被留在水里。溶解在海洋里的盐平均占海水重量的 34.5%。

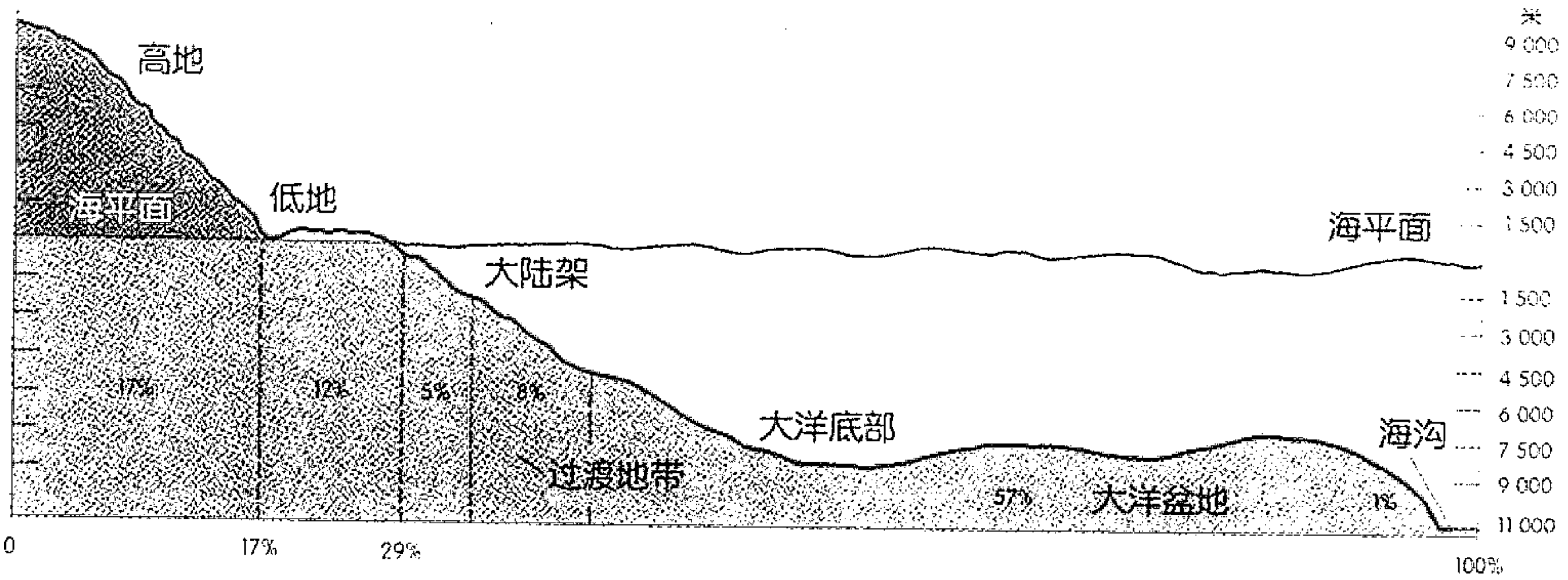
地球的水供应

降落陆地上的雨水多数来自从海洋表面蒸发到大气中的水分。地球大气中持续不停地移动的气流将潮湿的空气运送到内陆来。空气冷却的时候，水蒸气凝固成小水滴。这就是最常见的云。小水滴常常汇集到一起成为雨滴。如果大气的温度足够冷，凝集的水蒸气就成为雪花而不是雨滴。无论是这两种情况中的哪一种，来自几百千米甚至于几千千米以外海洋的水都降落到地球表面上来。除去立刻蒸发的水分以外，其余的水汇集成溪流或者渗透到地下，然后开始重返大海的旅行。

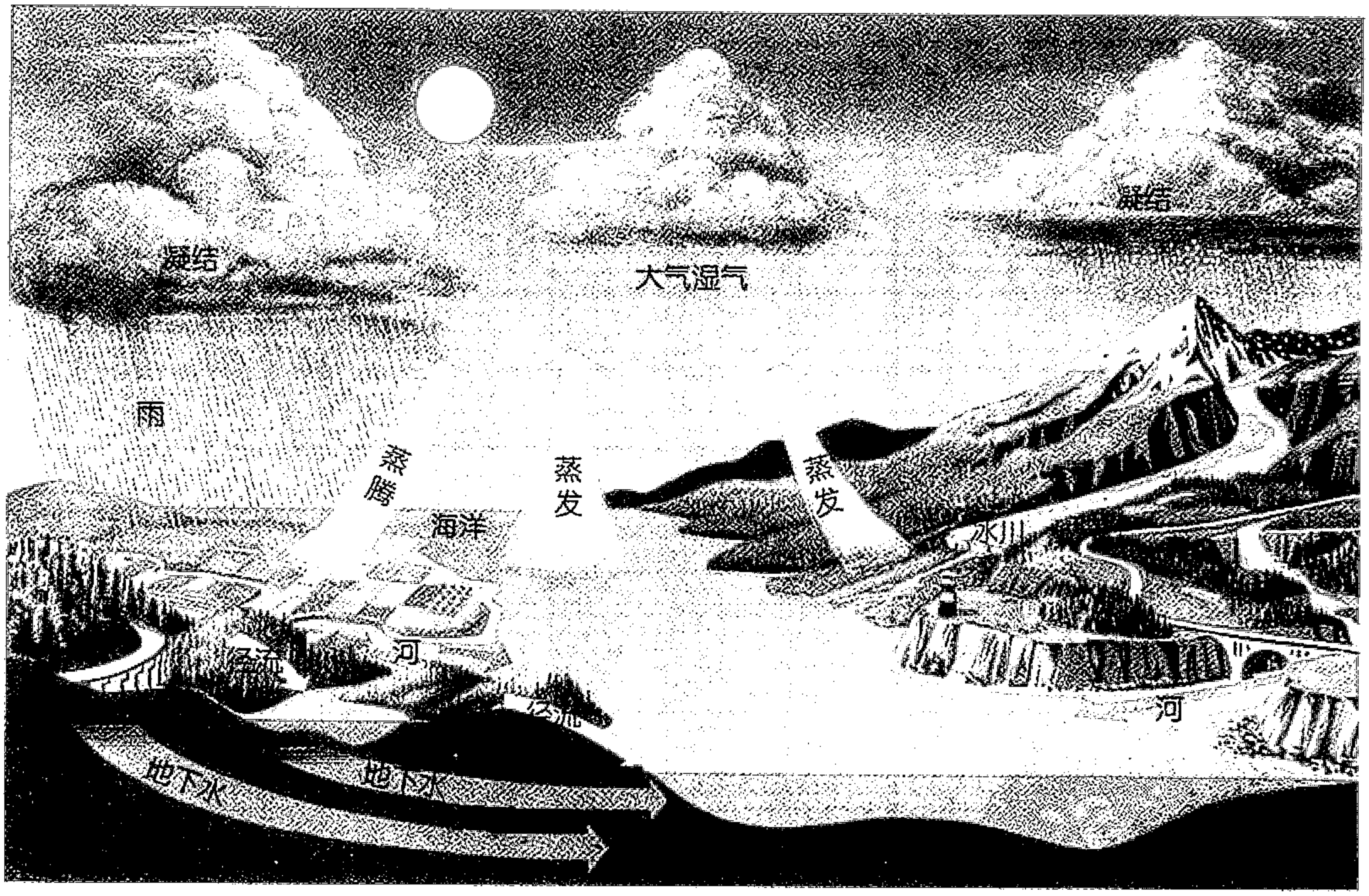
地球上有很多的水在地下流动，为树木和其他植物的生存提供必要的水分。多数地下水和地表水一样，也流向大海，只是流动得比较缓慢些。

水分和气温的平衡

水从海洋到大气到陆地然后返回海洋的循环运动称为水文循环。海洋对这个循环有强大的平衡力。通过海洋与大气的相互影响，大气中水汽得以维持大致恒定的平均值。如果没有海洋的平衡作用，整个大陆有些时候会完全干燥，有些时候又会洪水泛滥。



地球表面各部分的百分数
这幅图表示从高山到深海整个地球表面陆地和海洋不同地貌所占的比例。人类还不能有效地利用全部陆地和水域。



地球上的水不断地再循环。它以雨或雪的形式降落到地面上，被江河或者地下径流带入海洋，再以水汽蒸发的形式升入空中，又重新回到陆地上。这个过程被称为水文循环。

海洋又是储存热量的地方。当海洋上方大气寒冷的时候，海洋提供热量使大气温暖。当大气的温度高于海洋的时候，海洋又使大气变凉。这又是一种平衡作用。如果没有这个平衡作用，冬季和夏季的温差，甚至一天之中昼夜之间的温差都可能会大得多。

大洋底部的表面特征

大洋底部和陆地表面一样，也有山脉、峡谷和平原。大洋底部的地貌会发生变化，这点也和陆地一样。

在大陆上，许多侵蚀的力量，主要是水的侵蚀长年累月

地在起作用。它们打磨山岳，将泥土和岩石运送到地势较低的峡谷和平原。河水还能把部分岩屑一直带进大海。其他的一些力量，例如风和温度的变化都对山的磨损起辅助作用。

在大洋里只有轻微的温度变化。但是那里也有类似于风的一种力量。这是一种大洋深处的流，称为浊流。它将海洋底部较高的斜坡上的淤泥送到洋底深处。它也引起一些海洋底部的表面特征的改变。

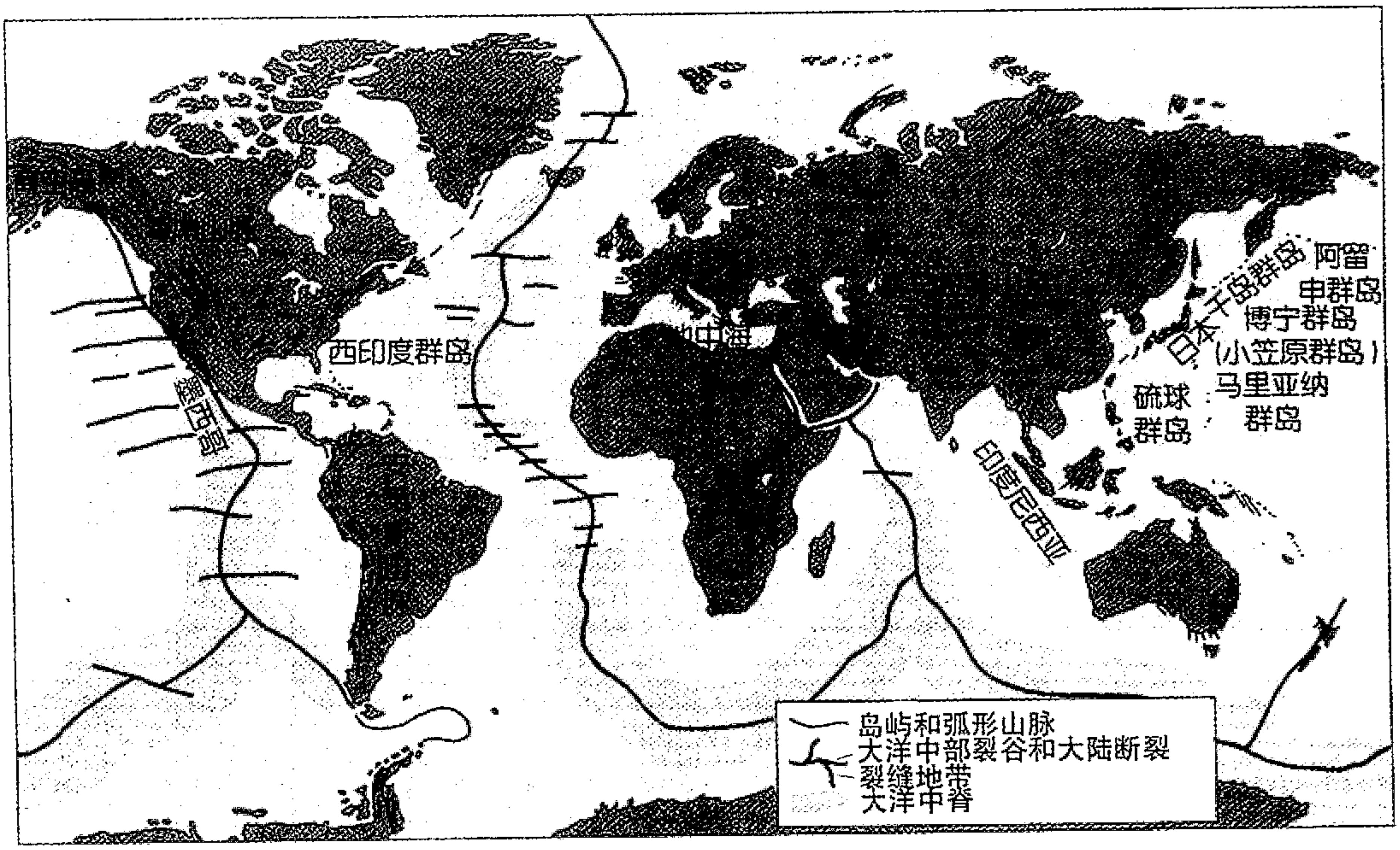
在许多个大陆上都有延伸几十万平方千米的宽广辽阔的平原。其中著名的有北美洲普列利大草原，俄罗斯的西伯利亚草原，以及南美洲的亚马孙平原。洋底深处也有广大的平原，称为深海平原。北大西洋深海平原位于海平面下 6 000 米深处。它几乎完全是平坦的，零零落落有些海底山岳矗立其间。

和大陆上有山脉一样，海洋里也同样有山脊横贯底部。这些山脊看起来像是以一定的图像组成的，它们通常都位于大洋盆地的中心部位。科学家因此把它们称为大洋中脊。

大洋中脊高矗于海洋底部。例如在大西洋中脊的两侧的大洋底部低于洋面 5 000 米。山脊本身比大洋底部高出 3 000 到 4 000 米。有些顶峰可能很高，高到露出海面。亚速尔群岛和阿森松岛就是大西洋中脊的峰顶。

大陆上的山脉

大陆上的山脉和大洋中脊一样高矗在它周围的平原上。南美洲安第斯山脉的许多峰顶比亚马孙河峡谷高出 6 000米。北美洲的落基山脉高出北美平原广阔的普列利大草原 4 300 米。



世界地图显示主要的山脉、山系和山岳地带。从全球的总体观念来看，比较容易辨认各个山群之间存在的相互关系。

位于印度北部边境的喜马拉雅山系有世界上最高的山峰珠穆朗玛峰，海拔高度为 8 848 米。喜马拉雅山系还有许多高峰，高出恒河平原 7 300 米。

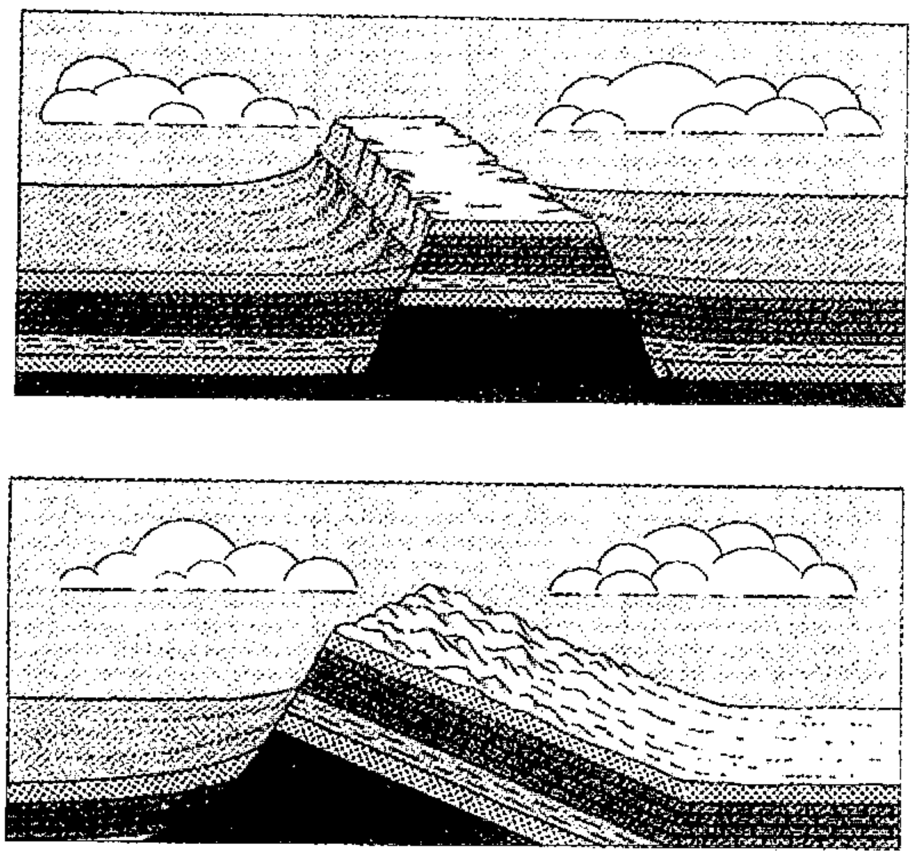
许多人觉得山脉是地球最壮观的表面特征。山脉往往彼此衔接，在地球的表面绵延几百千米甚至几千千米。欧洲的阿尔卑斯山脉，亚洲的喜马拉雅山脉，北美洲的落基山脉都是这样的山脉。

地质学家甚至还观察到山脉聚集成群的现象，一组山脉群里包括好几条山脉。这种山脉群称为山系。山系往往出现在大陆的边缘，特别是在北美洲与南美洲之间。科学家相信，由于山脉组成山系以及其在大陆上的特殊分布，山系一定与地球深部结构有某些关系。还没有人准确地知道山系与地球内部究竟存在什么样的关系。但是相信这种关系涉及山脉形成的方式。

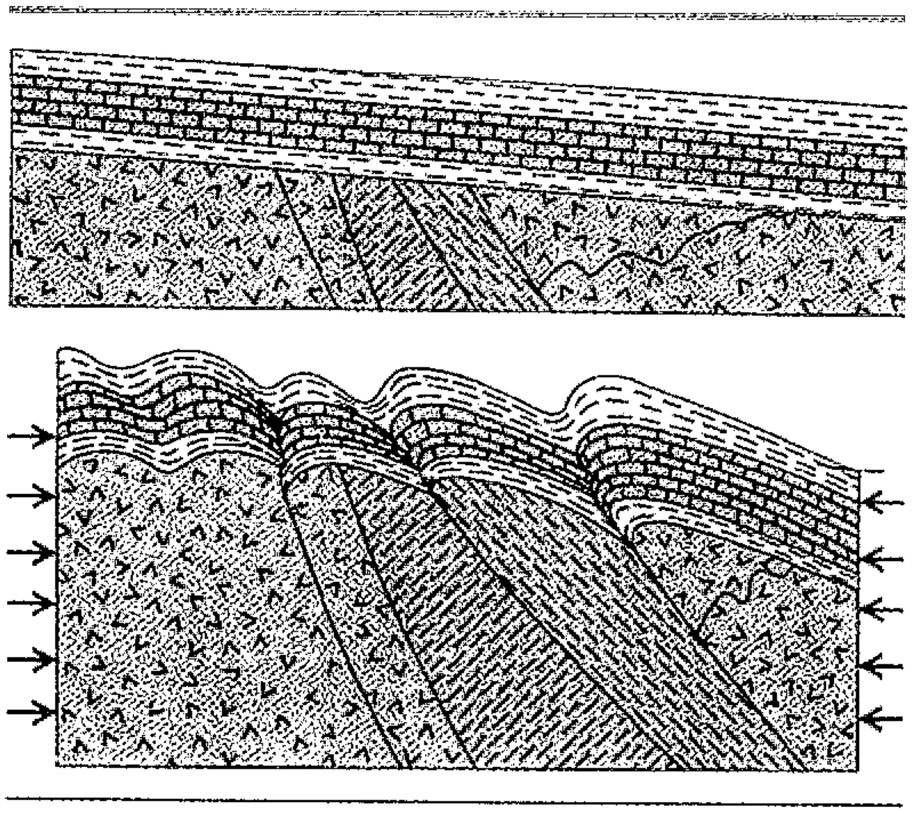
山脉的造成似乎是由于地壳深部或者地幔中的力推动大面积的岩石上升的结果。既然山系的排列遵循相对规则的图像，科学家相信这表示地球内部的力也有一个图像。

例如沿北美洲西部海岸和亚洲东部海岸分布的有些山系至今仍在上升。另外有些山系，例如美国东部的阿巴拉契亚山脉群却正处于被剥蚀夷平过程之中。

虽然还没有人知道有关造山的力的确实的知识，但是地震和火山的活动显然与造山密切相关。科学家知道地震和火山喷发通常发生在山系的青年期。然而没有人确切地知道地球内部深处究竟是什么力量引起地震和火山活动。



高山可以由地壳运动造成。一大块地壳可以逆冲而起，整个凌架于周围地面之上（上图），或者这块地壳的一头冲劲大于另外一头，从而使这块地壳翘了起来（下图）。



岩层受到来自水平两方面的压力挤压的时候，落到地槽（地壳上的一个凹陷的长形的槽）里形成大面积褶皱。由此造成的山称为褶皱构造山地。阿巴拉契亚山脉就是这样形成的。

山的形成有三种途径。由于它们各自具有一定的特征，因此可以从地球的表面追踪究竟是什么运动造成了某个山脉。多数山系是在漫长的岁月里通过这三条途径的结合而造成的。

造山的途径之一是熔岩从地球表面之下猛烈地推涌而出或者渗流出来。这样的熔岩堆积起来经冷却变硬以后造成了山。多数海底山脉就是通过这条途径形成的。

另一种造山的途径是地壳上发生断裂，裂口的一边翘起来了。发生断裂的这一边山势陡峭、崎岖不平。发生断裂的那一边与原来的地壳形成平缓的斜坡。加利福尼亚州的内华达山脉似乎是通过这一种途径形成的。

造山的第三种途径发生在地壳的两板块相互靠拢的时候。两板块之间的地壳受挤压而褶皱。如果你把两只手放在一块桌布的两边，然后把它们一起往中间推，就能得到类似的结果。美国东部的阿巴拉契亚山脉是第三种造山途径的例子。

峡谷和平原

峡谷把山脉分隔开来。有时侯一个峡谷的形成似乎与位于峡谷两侧的群山的形成有直接的联系。美国西南部的死谷就是一个明显的例子。

死谷的东西两侧是两条小山脉，它们处于青年时期，还在生长，一面往高处长，一面互相分开。它们中间形成了狭缝，膨裂开的大石块不断地掉进缝沟里。其结果是，原本就是美国最低点的死谷，经过一个世纪又一个世纪变得越来越低。

死谷是一个非常特殊的例子，是周围山岳按照一种不寻常的模式运动的结果。更为常见的峡谷类型是向斜谷。这种类型的峡谷特别引人注意的地方在于山脉的形成是压缩和褶皱的结果。就像上文举的桌布的例子那样，有的褶皱隆起有的褶皱下凹。向上隆起的褶皱是山脉的顶峰，是背向倾斜的背斜山，山峰之间的是相向倾斜的向斜谷。

在大的山系之间的地球表面相对说来是平的。这个广阔的地域称为平原。北美洲大平原是一个例子。几亿年以前山脉覆盖着平原地域。但是造山运动早已终止。侵蚀作用逐渐把山峰顶部打磨平了，将泥土沉积在峡谷之中，这个过程一直进行到整个地域几乎达到水平为止。

有些地方可以找到证据证明这种平原早先曾经是位于海面以下的。海洋生物化石可以在现在已经远高于海平面处的岩石里发现。

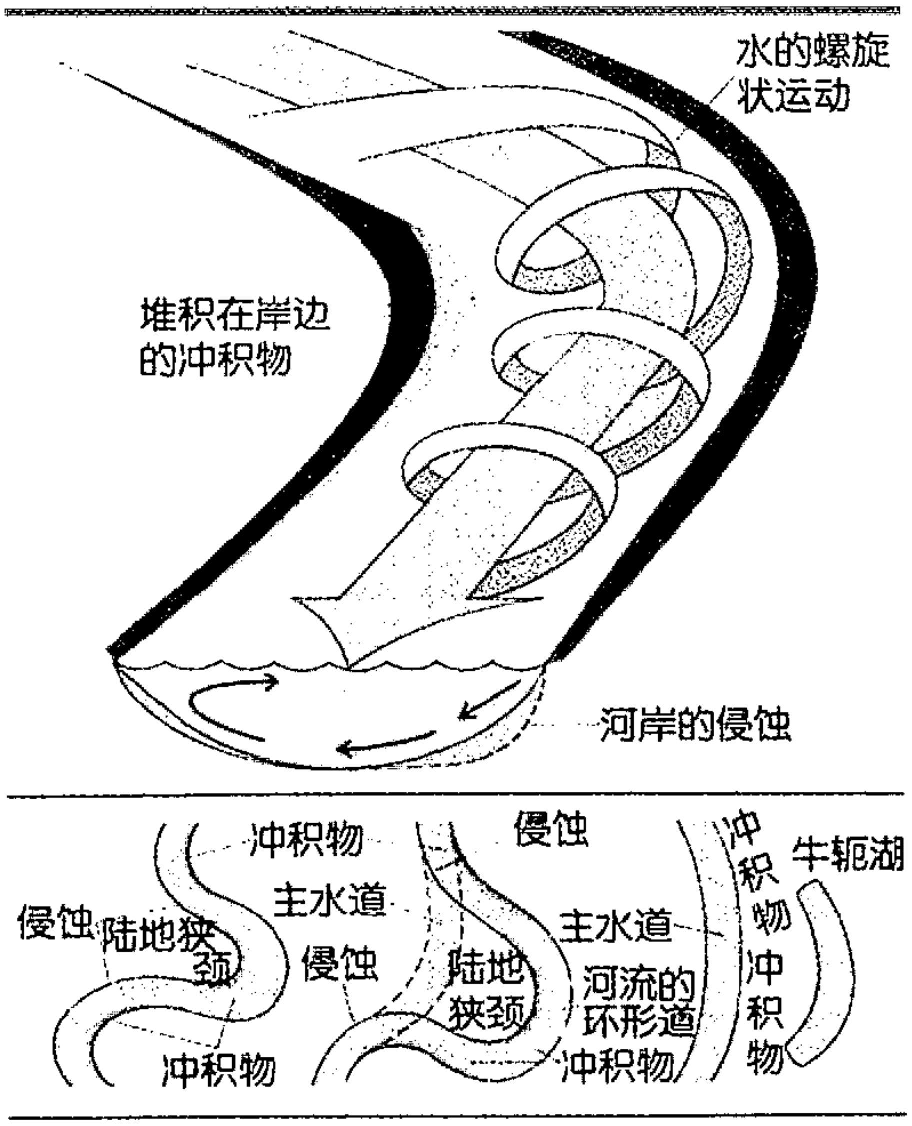
江河和溪流

多数的平原上有宽阔的河系穿越而过。平原上的这些河流与山区的河流有很大的差别。山区的溪涧和河流向下迅速奔流。它们挟带着挡路的卵石和石块滚转翻腾，几乎直泻而下。有时候从悬崖上翻落下来形成瀑布。这些河有很大的水量。

快速流动的水看起来清澈闪亮。但是不论是在山区或

是在平原里流过的溪流和河川都从高一些的地方一路带来冲积物。山涧看来清澈是因为它的水量大而所携带的冲积物量相对较少的缘故。

平原上的溪流和江河往往看起来是棕色的、浑浊的。比起在山区里流动的河和溪来，它们携带的冲积物的量大得多，而且流动的速度也慢得多。不仅如此，它们蜿蜒曲折，前后来回，形成许多大的环。



水的螺旋状的运动侵蚀一边的河岸，将被侵蚀的物质堆积到下游的另一边的河岸。堆积的结果可能在河里造成一个环。这个环与主水道分开后成为一个弯曲的牛轭湖。

曲流发展到具有河床要经历很长的时间。设想一条缓慢流动的河在大草原上穿过。其中的一段河水本来是直线流动的。它逐渐地但是持续地冲刷河床，最后露出岩石基底或者是砾石堆。既然河水没有足够的力量侵蚀岩石或者推走砾石堆，只好绕着弯走。这样，终于渐渐地形成了略微弯曲的曲线。

这条曲线外沿的水流得比内沿的快些，就像轮辋部分比靠近轮毂的部分移动得快一样。迅速流动的水侵蚀淤泥的速度也快，使得河道弯曲更加明显。当曲线更加突出的时候，水的作用力也更强。最后在障碍物的周围出现了被水切割出来的宽大的弧。

这个作用是随着水的顺流而下进行的。当水流从弯曲的河道向下流时，它的动量使它冲向对岸。渐渐地，这段河岸被冲刷了，河水又回过头来在原来是河床的这一边切出一段曲线。河水顺流而下，这个作用断续进行着：先在河道的一边切割，再在另一边切割。几百万年以后，形成一条弯弯曲曲的河道。

有时水流冲出来的曲线十分明显，河岸几乎成为一个完整的环。位于水流环形道开端和结尾之间的那块陆地狭颈最后可能完全被水冲开。主水道将避弯取直从切口这里走近路流过。这时候那个长长的水流环形道里差不多将不再有水流过。

当河水通过主河道的时候，冲积物堆积起来了。冲积物在主河道和环形道的开口端之间造成了障碍。最后，环形道完全与河流分开，只剩下弯曲的一段环。这一湾水面称为牛轭湖。

河流继续不断地侵蚀它流过的地段，峡谷因此变得越来越深。有时候这样的侵蚀会造成奇异的地貌。美国西部的科罗拉多河就把它流过的高原台地切割出若干巨大的深谷。其中的科罗拉多大峡谷是世界最壮观的风景之一。

食物和水的供应

人类的食物多数来自土地。来自海洋的食物是少量的。几乎所有的食物都来自陆地上的农田。但是大陆上只有很小比例的土地是可以耕作的。地球上土地大约7%是可耕作的或适于农业的。其余的是赤道附近的沼泽和密林，几百万平方千米的荒漠，崎岖不平的山脉以及主要在遥远的北方的冻土地带。

人们曾经找寻生产更多食物的途径，供应地球上不断增长的人口的需要。许多人认为海洋应该可以提供更多的食物。他们指出海洋占地球表面70%以上，吸收大约70%的阳光。既然阳光是农业的一项基本需要，海洋似乎理所当然地可以提供大量的食物。但是看起来理所当然的事情实际上往往并非如此。

生活在海洋里的吸收阳光的植物几乎都是藻类。藻类不是人们的美味佳肴，但是它是海洋食物链金字塔的一个重要部分。在这座金字塔里，藻类是微小的海洋生物的食物。这些微小的生物反过来又是比它们大的生物的食物。

人们在捕鱼的时候就进入了这座金字塔，但是人捕捉的鱼已经靠近金字塔的顶端。这座金字塔的每一个台阶都是效率非常之低的。500千克藻类才能生产0.5千克鳕鱼，这还不够一个人一天的食物的量。要让世界上日益增加的人口吃饱，人类必须设法使海洋的经营效率更高，不能仅仅依靠捕鱼。

陆地上许多土地因为缺少足够的水不能发展农业。上千万公亩土地通过兴修堤坝获得灌溉以后变成农田。有些科学家估计，如果世界上全部河流的水都能有效地利用，适用于耕作的土地的数量可以提高10%左右。

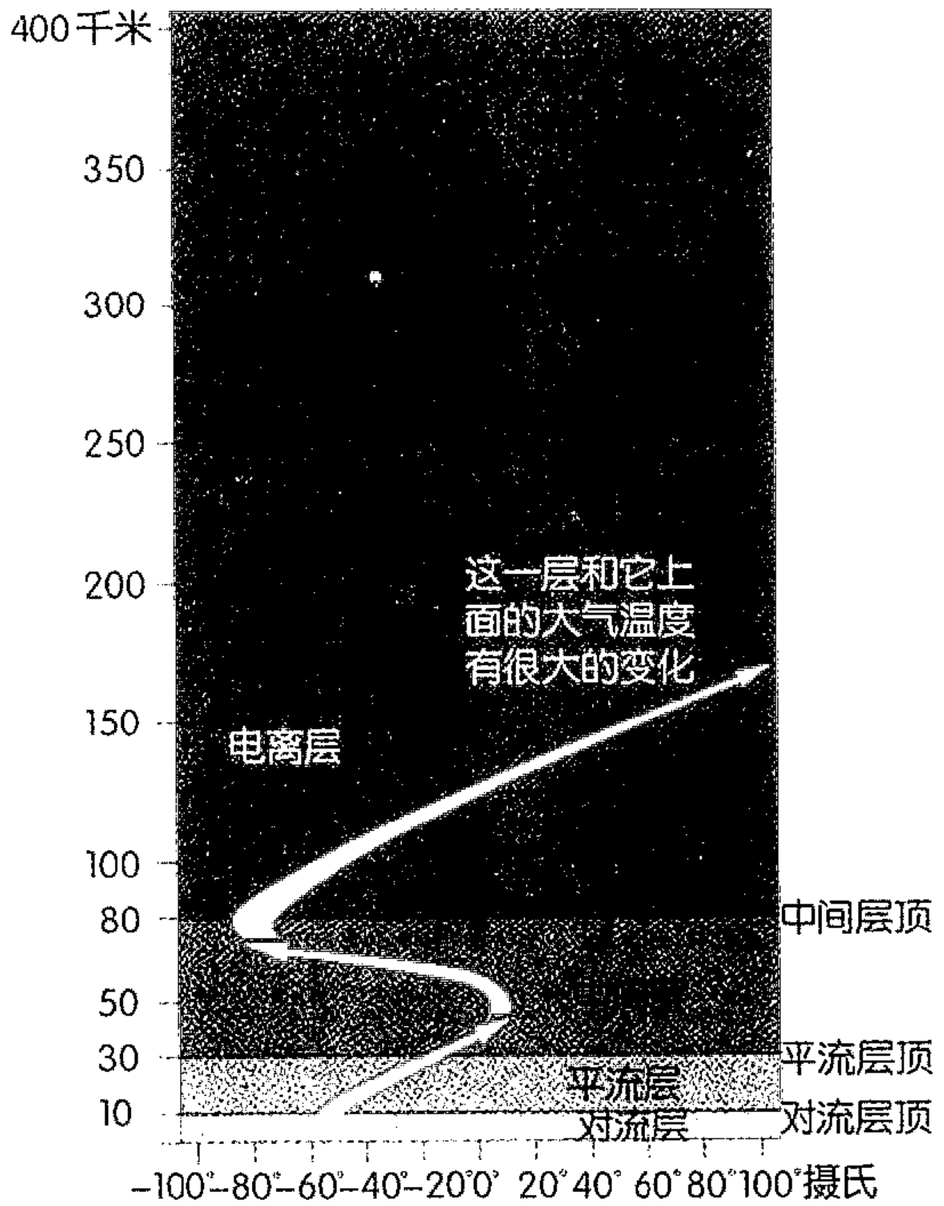
增加水供应的另一个途径是将海水变成淡水。人类早在2000年以前就知道用什么方法可以使海水淡化。但是

这个转化过程很费时间，采用现代化的设备又十分昂贵。设在古巴的关塔那摩美国海军基地蒸馏厂每天生产淡水超过 7 570 立方米。每立方米淡水的价格是 33 美分。在纽约市同样数量淡水的价格则是 5.28 美分。

科学家曾经对利用以原子能为动力的蒸馏厂进行过调查。一个厂每天可以生产 39.63 万立方米(1.5 亿加仑)淡水，每立方米淡水的价格为 9.2 美分- 10.6 美分。这个厂同时可以提供 200 万千瓦电力。

大气圈

地球由地壳、地幔和地核组成。另外一种划分地球，特别是将靠近地球表面的部分划分层次的方法，有助于理解它们彼此之间发生的重要的相互作用。这种方法把地球表面划分成岩石圈、水圈和大气圈。在此之前，本文主要涉及岩石圈和水圈，虽然我们并没有使用这两个术语。



图示大气圈的一些层次所处的相对位置。箭状物指示温度。

岩石圈包括地球上全部固体物质。岩石圈由全部石块、土壤、岩石以及行星地球的整个内部组成。

水圈包括地表上全部的水。水圈由地壳上全部液态的水组成，包括海洋、河流、湖泊和地下水，以及冰川的、山上的、北极南极的冰盖的冻结水。

大气圈包括地面以上直到星际空间之间的一切气体。大气圈从地表算起足有上千千米厚，而且没有明显的上界。在高空，大气只是越来越加稀薄，直到最后终于无法说明在什么高度不再有地球的大气，什么高度开始有星际空间的气体。

大气圈里包含水汽和许多其他气体。在接近地面的地方，大气的 78% 是氮。对包括人类在内的一切动物必不可少的氧占 21%。剩下来还有 1% 是其他各种气体，如氩、二氧化碳、氦、氖。其中的二氧化碳对于植物，正如氧对动物那样，是维持生命所必需的。但是二氧化碳只占大气的 0.03%。

大气圈的重量压在地球表面，产生了相当于在每平方厘米海面上 1.03 千克的压力。各个地方压力的大小有少许变化，发展成为与天气型式有关的高压区和低压区。在海拔高的地方气压减小，因为当地从上方压下来的大气较少。海拔 11 000 米是民航喷气客机典型的航行高度，这个高度的大气压力只有海平面大气压力的 $\frac{1}{5}$。

大气的温度在高空也降低了。11 000 米高空的平均温度是- 56℃。再往上升直到 25 000 米高空，大气的温度仍旧维持- 56℃不变。但是高度再往上增加，温度就升高了。

大气圈分为几个层。最靠近地面，高度 10 千米以下的一层称为对流层。对流层以上的、温度保持不变的一层称为平流层。平流层以上是中间层，再往上是离地面 80 千米以上的电离层。

在最上面这一层，地球大气圈里的许多分子和原子都电离了。这就是说它们成为带着一个阳电荷或者阴电荷的离子。

大气上层的组成与靠近地面的有所不同。在平流层的上部和中层里，各种分子之间发生化学反应，形成了臭氧。臭氧是含有 3 个氧原子的氧分子。(动物呼吸时吸入的是含两个氧原子的氧分子。)还有其它种种氮氧结合而成的分子。大气圈较高的地方几乎全是氮气，再往上又几乎全是氧气。在大气圈的最顶层占统治地位的是轻的气体，氦和氢。(参见：**大气**)

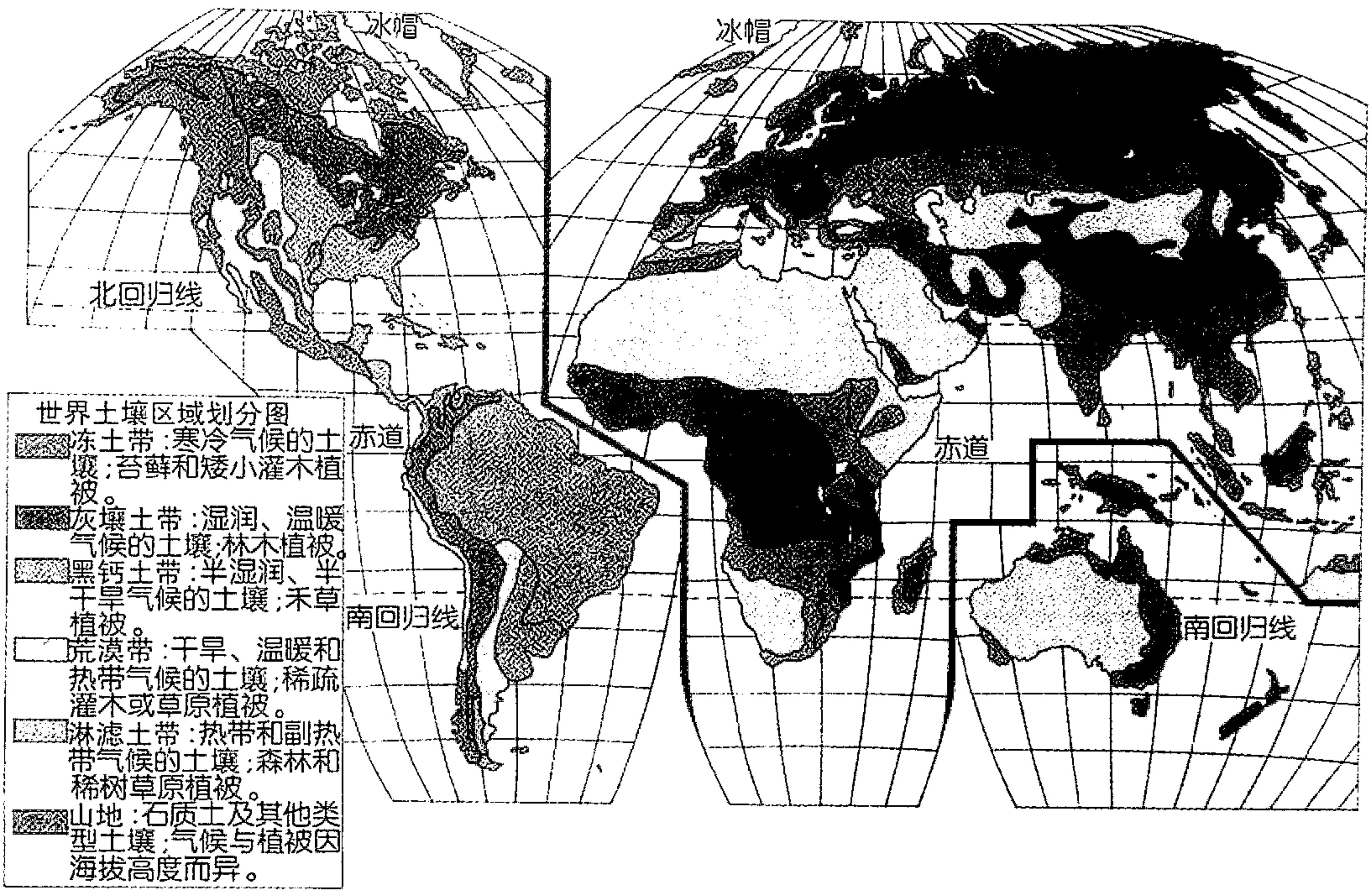
地球磁场

科学家说除了大气圈以外，还有一个似乎是将地球环境与空间环境隔离开来的边界。这个边界称为磁层顶。它的一边是地球的磁场控制的领域，称为磁层；另一边是星际空间，它的磁场主要由太阳控制。

地球有一个强的磁场。就好像地球是一个巨大的磁棒似的。用来指示地面的方向的磁罗盘之所以起作用就是因为有这个磁场。这个磁场伸向空间远处。

一切带电粒子在通过地球磁场的时候都受到后者的作用力。那里有来自太阳的带电粒子形成的持续不断的"风"。

这种太阳风受地球磁场的作用在接近地球的时候发生



地球的岩石地壳表面覆盖着比较薄的一层土壤。可耕作的土壤只占地球表面很小的一部分。土壤含有受侵蚀的岩石破碎后形成的细小的颗粒。

偏转。由于二者的相互作用，地球磁场朝向太阳的那一面略微受到压缩，背向太阳那一面被拉伸出来一条长长的尾巴。

在磁层里，无数带电粒子，以巨大的、宽阔的带状形式环绕地球轨道运动。它们的运动是有规律的，因为它受相对稳定的地球磁场的控制。这条辐射带是美国发射的人造卫星探险者一号发现的，这是太空时代最早的成就之一。

辐射带里的带电粒子实际上是以复杂的螺旋状形式运动的。它们从北往南来回运动，同时它们的整体缓慢地沿地球漂移。

当太阳磁场特别强的时候，地球磁层受到压缩。受束缚的粒子带被推挤而移近地球。科学家还不能肯定著名的北极光和南极光形成的原因。有一种解释是，在受束缚的粒子被迫进入地球大气层的时候，它们与那里的粒子相碰撞，产生大量的能的交换。这些能转变为光，从而出现奇异的极光。

岩石与矿物

地球常常被称为岩石球。位于地面上的岩石和地面下的岩石是在各种各样的物理和化学条件下形成的。

所有的岩石都是由矿物构成的。有些岩石里的矿物是单一的化学元素，例如金和铜。但是多数岩石里的矿物是化合物，是若干元素组成的、具有一定的化学组成和精确结构的化合物。多数矿物形成晶体。每一种晶体都有独特的形状和结构。这种形状和结构是晶体的原子的种类和排列确定的。

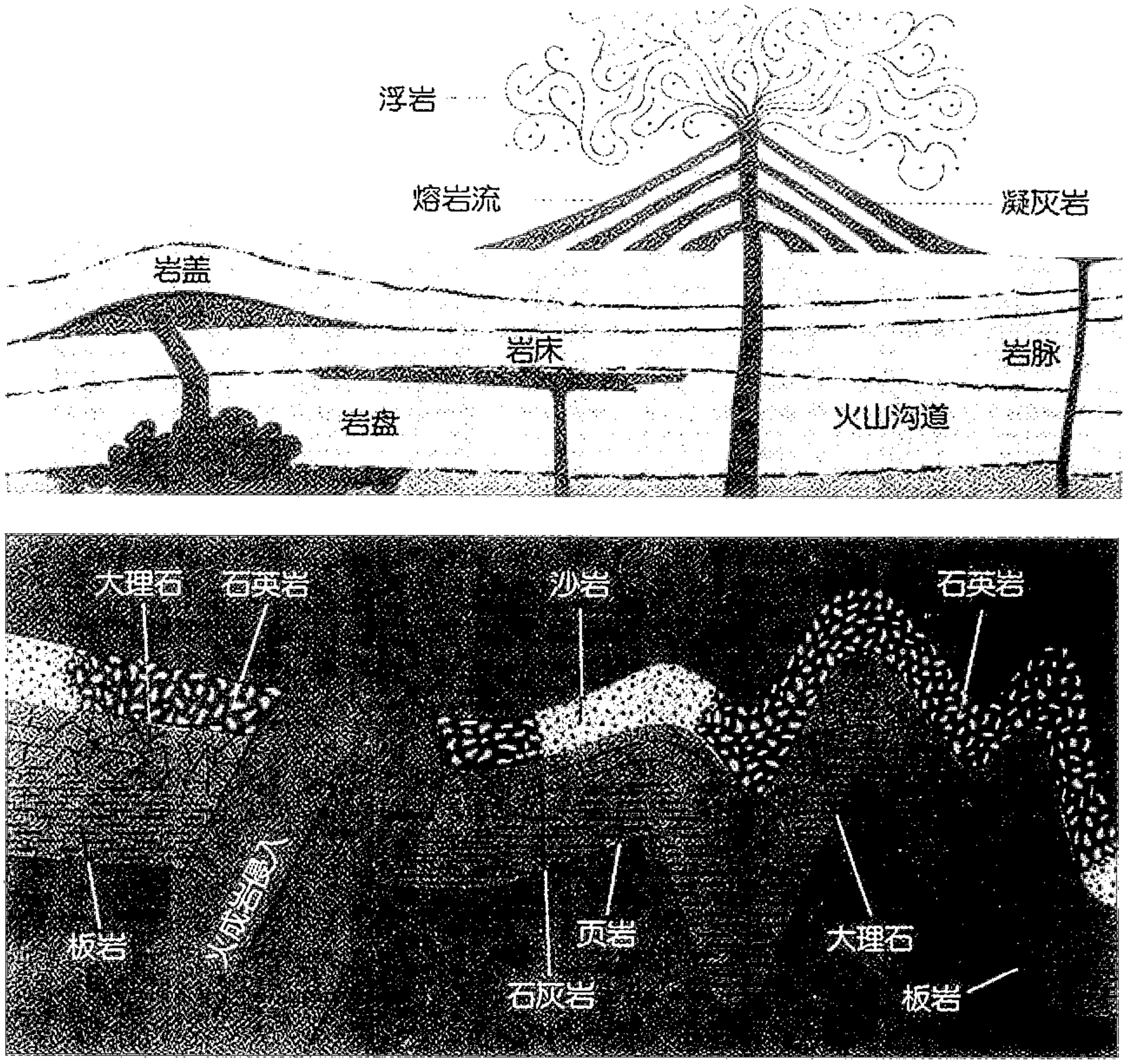
火成岩

火成岩是构成地壳的主要岩石。地球上其他许多种岩石是火成岩形成的。火成岩是由熔融状态的岩浆凝结形成的岩石。地表下面熔融的岩石叫做岩浆。火山活动时喷流出地面的岩浆叫做熔岩。

地壳深处的岩浆会缓慢地冷却。这时候矿物慢慢地发育，可能达到相对地比较大的体积。逐渐冷却的过程产生出花岗岩或辉长岩这类的粗晶岩石。产生什么种类的岩石取决于岩浆内的化合物。每种岩石都可以从它独特的矿物成分来区分。

接近地表的岩浆冷却的速度快，矿物发育生长的机会小，结果产生与粗晶粒岩石成分相同的细晶粒岩石。细晶流纹岩和粗晶花岗岩、细晶玄武岩的成分是相同的，和辉长岩的成分也是相同的。

火山喷射出来的某些矿物迅速冷却，没有来得及碰到地面就凝固了。熔岩冷却得非常之快，里面往往留着气泡。这种熔岩变硬的时候，它是很轻的，多孔的。浮岩就是这样形成的。天然玻璃黑曜岩也是熔岩造成的。



火成岩由熔岩或岩浆形成（上图）。岩浆渗透进岩石层之间的缝隙，随后冷凝形成大面积的岩盘和面积小些的岩盖。它们都可能延伸长达几百千米。岩浆被挤压向上进入一个裂缝以后会冷凝成为一条岩脉。岩浆还可能找到一条沟道（一条天然的垂直的通道）穿越地壳，作为一座火山，把浮石或者凝灰岩喷射到天空中去。变质岩（下图）是温度或者压力的巨大的力量改变岩石的组成而形成的。图左侧显示高温使石灰岩变成大理石，砂岩变成石英岩，页岩变成板岩。图右侧表示压力产生了同样的变化。在温度或者压力的进一步作用下，页岩会经历一系列的变化成为一种花岗岩。

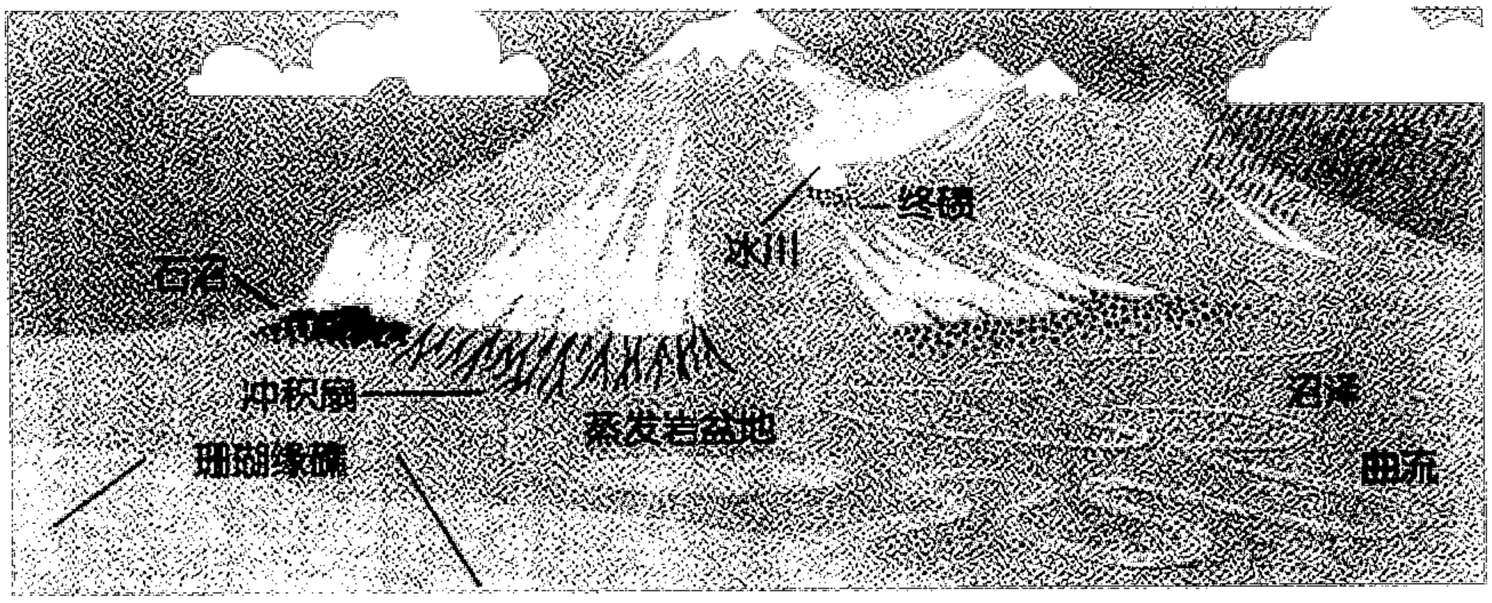
变质岩

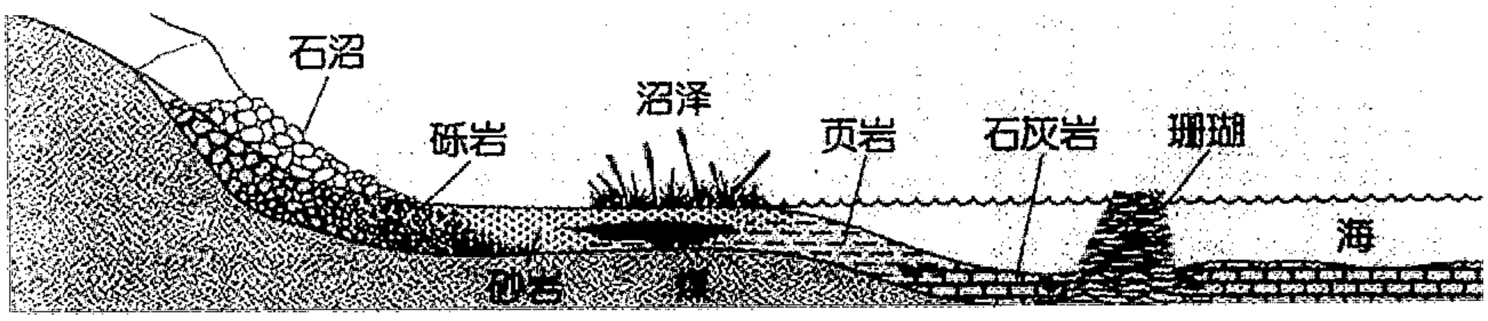
变质岩的形成是岩石原来的成分和结构在温度和压力作用下发生变化的结果。地壳深处的温度比接近地面处的温度高得多。那里的灼热的岩石一方面受到上面地壳重量的压力，另一方面也受到地壳横向运动的压力。有的时候还有液体和气体对岩石起作用，使它发生变化。

石灰岩是一种沉积岩，由于这种力的作用变成了大理石。页岩的矿物晶粒在压力的作用下向新的方向生长，成为另外一种岩石板岩。这是一种变质岩，它在持续的压力下转变成为千枚岩，继而成为片岩。片岩在外观、成分和结构各个方面都与原来的页岩大不相同。石英岩是一种最坚硬、最致密的岩石，它是比较松软的粒状砂岩的变质岩形态。

沉积岩

沉积岩覆盖着地球表面的许多地方，但是它往往隐藏在薄薄一层土壤的下面。通常为方便起见将沉积岩分为碎屑岩和结晶岩两大类。碎屑岩由不同大小的岩石碎屑构成。结晶岩是溶液里沉淀出来的矿物质构成的。





沉积岩是陆地上或大海里侵蚀过程造成的岩石碎屑形成的。冰川把岩石碎块搬运到终碛，形成石沼，溪流将物质沉积在冲积扇里，河流把碎屑送进大海。

侵蚀的岩石碎屑从暴露的地面（例如山）被溪流河川搬运到海洋里，慢慢下沉，成为细的淤泥或泥。像砂这样较大的颗粒在离海岸不远的地方沉积下来，像卵石和大卵石这些最大的碎屑沉积在海岸线上。这些矿物质经过长时期的积累，颗粒之间的水被挤出去了。水溶液里的胶结剂，例如碳酸钙、二氧化硅以及氧化铁能把颗粒黏合在一起。

海岸附近的卵石黏合在一起成为砾岩。离岸再远一些的形成页岩。到了开阔的大海里，碳酸钙和死去的海洋动物的外壳形成灰石岩。

结晶岩也可能在不深的内陆海里形成。内陆海与开阔水域之间的通路受到限制，或者完全被割断。这种地方的海水可能会慢慢蒸发，剩下的化合物成为诸如石膏和岩盐这类的沉积岩。

地质学家能够通过研究沉积岩的分布重建一个地区的古代地形和自然环境。沉积岩里几乎都能找到化石。化石记录了地球上生命的历史。沉积岩里有煤等矿物资源。

地球的过去

地壳大约是在45亿年前形成的。从此以后，陆地的表面特征经历了形成、破坏、再形成的过程，甚至大陆的位置也都起过变化。在漫长的时间里产生了各种各样的植物和动物。其中有些繁荣一时以后灭绝了，另外一些适应了新的生存条件存活下来了。

这些事件全都被记录在地球的岩石里，但是任何一个地区的记录都是不连续的。地质学家有的时候可以通过研究地球上不同地区岩石的顺序，填补其中的空白。

地层学记录和化石

地层学研究地球的层次，或者说岩石的层次。地层学家企图通过研究岩石层次的顺序来重建地球的历史。对比不同地域岩层的顺序可以查明各个时期的各个地质事件。

化石是曾经在地球上生存过的生物的遗体，在沉积岩里经常可以找到。这些遗体常常是动物的外壳、骨骼或牙齿，或者是植物的木质结构。在特殊的情况下，动物的肌肉和软组织有保存下来的。例如，在西伯利亚和阿拉斯加发现猛犸象的冰冻遗体。有一次甚至发现猛犸象的胃里还有尚未消化的食物。38 000多年以前这只猛犸象掉进了冰天雪地中的裂缝。

带着坚硬部分的古生物化石通常是石化了的，或者说变成了石头。古代的昆虫在琥珀中保存下来了。琥珀是某些种类树木的硬树脂。

放射性测定年龄法

地质学家用放射性测定年龄法确定许多岩石的年龄。这种技术是建立在元素的原子结构的基础上的。

元素是由质子、中子和电子构成的。任何元素的原子都有一个小的核，其中含有一到多个质子，一到多个中子。质子带正电荷；中子不带电。绕中子转圈的是一到多个电子。电子带的是负电荷。

一种元素的全部原子所含质子的数目相同。每一种元素独有的质子的数目被称为原子序数。例如氢只有一个质子，所以它的原子序数是1。铀有92个质子，它的原子序数是92。

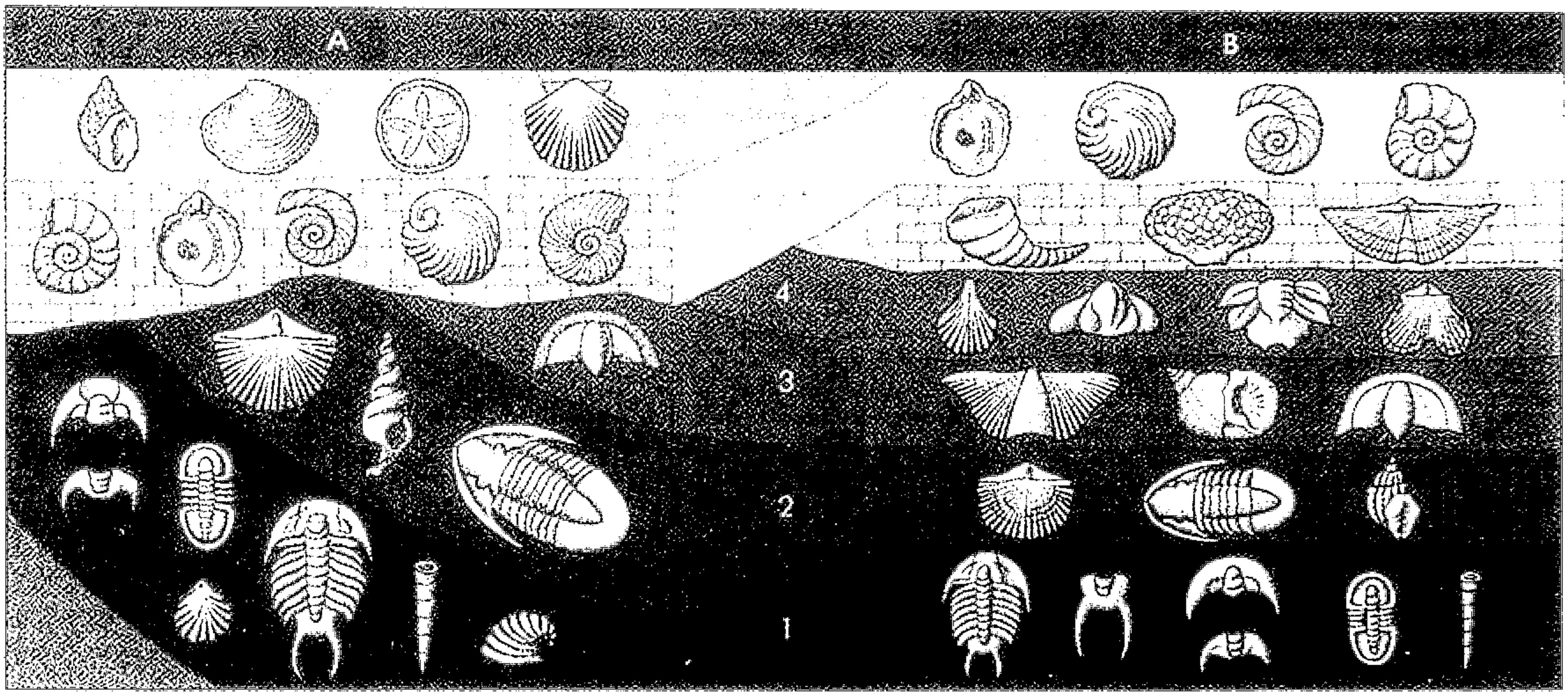
元素的原子量是它全部质子和中子的总和。氢只有一个质子,没有中子,它的原子量是 1。铀有 92 个质子,146 个中子,它的原子量是 238。

许多元素存在着不同的形式,它们的中子的数量不同,因此原子量不同。这些原子量不同的元素称为同位素。例如,铀的一个同位素 U^{235} 有 143 个中子,另外一个同位素 U^{238} 有 146 个中子。

有些同位素的原子结构是不稳定的。这些同位素的原子里发生的变化使它们达到稳定的状态。在发生这类变化的时候,原子核里面的粒子以高能放射出来,产生放射现象。

高能粒子的放射率,始终是相对固定的。不同的元素有不同的放射率。一种同位素失去一半数量放射性所经历的时间称为半衰期。半衰期的重要性在于对特定的一种同位素说来经历的时间总是相同的。这就是说,一个有 100 万个原子的样品失去 50 万个原子经历的时间和另一个有 1 000 万个原子的样品失去 500 万个原子经历的时间是一样的。

半衰期是放射性年龄测定法的基础。铀同位素 U^{238} 衰变而形成元素铅。既然 U^{238} 的一半变成铅要用去 45.1 亿年时间,它的半衰期就是 45.1 亿年。(参见:**放射性**)



化石帮助地质学家确定岩石层的地质年龄。本图显示相距 322 千米远的 A、B 两组岩石层。可以从每一层的化石判断各自相应的年龄。

前寒武纪

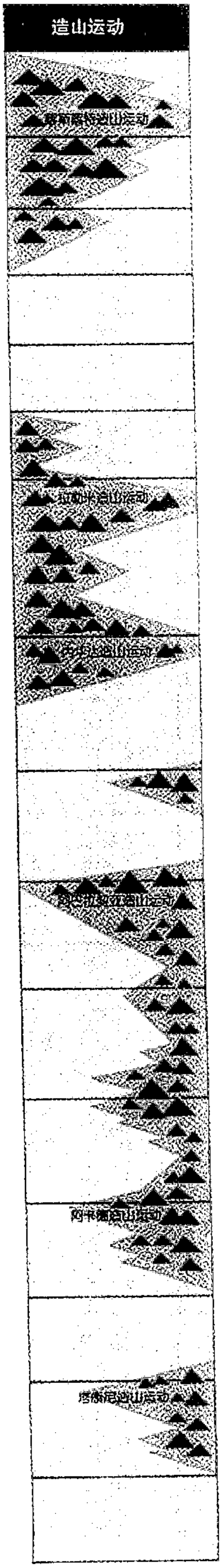
地质学家将地球的历史按很长的时间跨度划分为代,继而又按稍短的但是实际上还是很长的时间跨度划分为纪、世、期。还常常把整个地质时期划分为两大段。前面的一段叫做隐生宙(生物未显现的时期)。这一段时期与前寒武纪相吻合。后面这一段时间自前寒武纪结束时起直到当代叫做显生宙(生物显现的时期)。

前寒武纪从地壳形成的时候大约是 45 亿年以前开始算起,一直到古生代开始,大约是 5.7 亿年前为止。因此前寒武纪差不多占据了地球全部历史时期的八分之七。

暴露在地表的最大范围的前寒武纪岩石出现在大陆地盾区。这些岩石是稳定的,位于地势很低的大陆中心地带,没有被更年轻的岩石所覆盖。每一个大陆都至少有一个地盾。

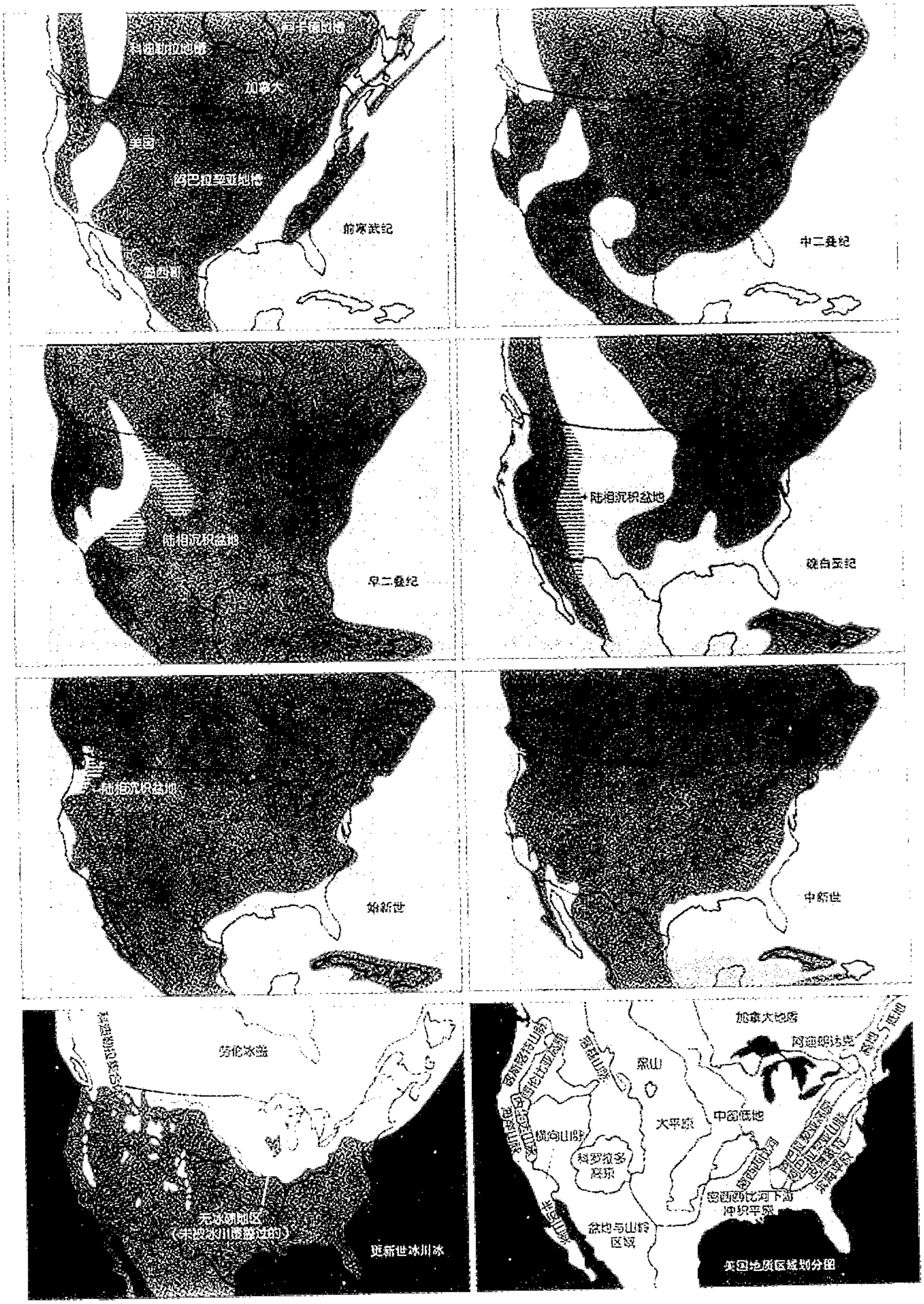
北美洲的加拿大地盾(又名劳伦琴高原)有世界上最大片的前寒武纪岩石外露。这个地盾在加拿大和美国占地约在 466 万平方千米以上。这里有许多丰富的矿藏,包括金、银、铂,以及产量超过世界半数的镍。在北美洲还有另外两处是前寒武纪外露的地方。那就是大峡谷地区和落基山脉。

最早在地球上生存的有机体是在前寒武纪时期出现的。人们曾经努力探索它们的演化过程。已经知道的最早出现的生物是一种类似蓝绿藻的微生物。在南非岩石中发现的这种有机体的化石大约已经经历了 32 亿年的时间了。类似的有机体化石也在澳大利亚和北美洲的岩石中发现过,它们的年龄为 19 亿到 10 亿年。

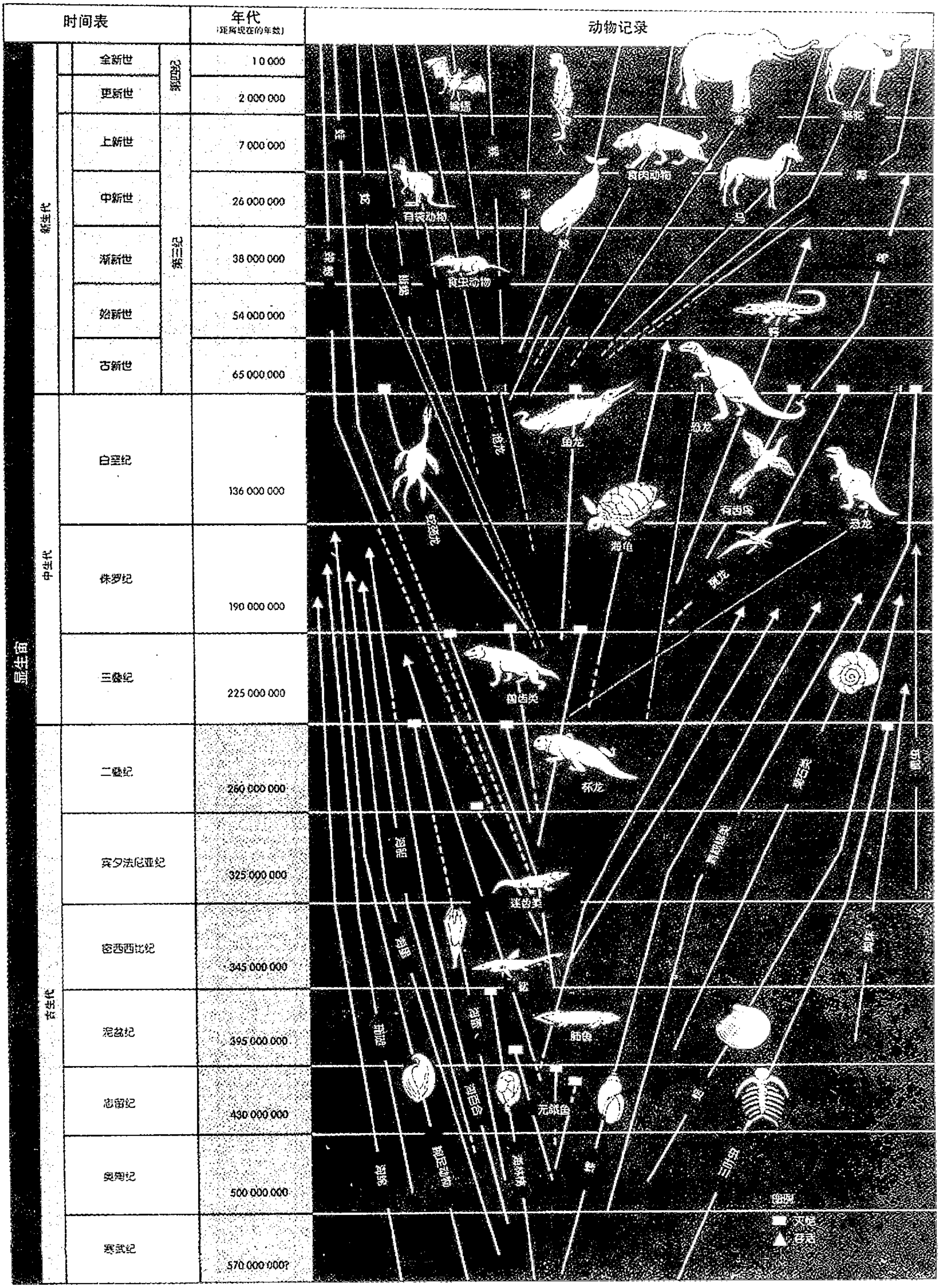

造山运动
拉勒米造山运动
阿卡德造山运动

古地理图

陆地 ▇　海洋 ▒


科迪勒拉地槽
加拿大
美国
阿巴拉契亚地槽
墨西哥
前寒武纪
中二叠纪
陆相沉积盆地
早二叠纪
陆相沉积盆地
晚白垩纪
陆相沉积盆地
始新世
中新世
劳伦冰盖
无冰碛地区
（未被冰川覆盖过的）
更新世冰川冰
加拿大地盾
阿迪朗达克
黑山
大平原
中部低地
横向山脉
科罗拉多
高原
密西西比河下游
冲积平原
盆地与山岭
区域
美国地质区域划分图

古生代


时间表
年代
(距离现在的年数)
动物记录
显生宙
新生代
中生代
古生代
第四纪
第三纪
全新世
10 000
更新世
2 000 000
上新世
7 000 000
中新世
26 000 000
渐新世
38 000 000
始新世
54 000 000
古新世
65 000 000
白垩纪
136 000 000
侏罗纪
190 000 000
三叠纪
225 000 000
二叠纪
260 000 000
宾夕法尼亚纪
325 000 000
密西西比纪
345 000 000
泥盆纪
395 000 000
志留纪
430 000 000
奥陶纪
500 000 000
寒武纪
570 000 000?
蝙蝠
有袋动物
食虫动物
食肉动物
马
鱼龙
恐龙
海龟
有齿鸟
翼龙
杯龙
迷齿类
肺鱼
无颌鱼
腕足动物
海百合
三叶虫
图例
灭绝
存活

古生代开始于5.7亿年以前，前后共持续了3.45亿年之久。地质学家通常把古生代细分为七个纪。从最早到最晚按先后顺序排列为：寒武纪、奥陶纪、志留纪、泥盆纪、密西西比纪、宾夕法尼亚纪和二叠纪。

植物和动物的主要的类别多数是在古生代演化形成的。温暖的气候和逐渐入侵的海洋是早期古生代的特征。寒武纪和奥陶纪的海洋里充满了生物。在海里占优势的是这样一些生物：被称为三叶虫的节肢动物，这是蜘蛛和龙虾的前辈；头足纲动物，它们是鹦鹉螺和枪乌贼的祖先；腕足动物门动物，其中的双壳纲动物至今仍存活着；还有漂浮在海里的群体动物笔石，有些科学家认为它们可能属于脊索动物门。

志留纪时期最大的食肉动物是像蝎子样的板足鲎，其中有些长约一米。最早的陆地动物也是蝎子状的，最早的陆地植物长得很像地衣，它们都可能是在志留纪时期演化形成的。

到了古生代后期，鱼类在海洋里占了统治地位，泥盆纪因此往往被称为鱼的时代。但是在这段时间里，最早的脊椎动物——原始的两栖动物——也出现了，陆地上生长着像大树那么高的羊齿植物林。

在密西西比时期，一个不深的内陆海占据着北美洲内地大部分地区，形成了大面积的石灰石。密西西比纪的海里长着海百合，它们是和海星同属一类的有触手的动物。

在宾夕法尼亚时期，许多地方出现了大片的沼泽地带，构成了美国东部巨大的煤的矿床。出现了最早的爬行动物，昆虫的身躯长得非常大。

在二叠纪时期，普遍出现荒漠。北部大陆的气候干燥温暖，但是南部的大陆却被冰盖所覆盖。爬行动物的数量和种类在古生代末期开始增加。

中生代

中生代共分三个纪。按时间先后分为三叠纪、侏罗纪和白垩纪。中生代大约持续了1.6亿年，在6 500万年以前结束。

许多科学家认为大陆是在中生代的时候，由古生代时候已经存在的一块称为泛古陆的超大陆形成的。这种观点是大陆漂移假说的一部分，它认为超大陆在中生代的时候开始分裂开来。一种见解认为大陆被来自洋中脊的向外涌的地幔物质切割开，并成为移动的大板块。

到了稍后的大约2.25亿年以前开始的三叠纪时期，泛古陆分裂成两大块。北边的那块称为劳亚古陆，南边那块叫做冈瓦纳古陆。到中生代末期，南美洲和马达加斯加从非洲分离出来。澳大利亚洲仍旧连着南极洲，北美洲、格陵兰和欧亚大陆还是互相连接在一起的。

中生代有时候被称为爬行动物时代。爬行动物统治着陆地。在三叠纪时期出现了最早的恐龙。有些爬行动物在进化过程中进入海洋或者天空。仍旧停留在陆地上的是有史以来最可怕的食肉动物霸王龙以及古往今来最大的陆地动物雷龙。已知的最早的鸟始祖鸟出现在侏罗纪时期，最早的哺乳动物可能出现在三叠纪后期。

随着中生代的结束，爬行动物的一统天下也宣告结束。包括恐龙在内的多种爬行动物灭绝了。也有一些爬行动物存活下来。存活下来的包括蛇、海龟、鳄和蜥蜴。没有人知道为什么这些种爬行动物能够存活下来，而另外那些种却遭到灭绝的命运。

新生代

在中生代后面接下来的是新生代，它一直延续到今天。它由第三纪和第四纪组成，分别起于6 500万年和200万年以前。第三纪又进一步分为古新世、始新世、渐新世、中新世和上新世；第四纪又分为更新世和全新世。这些表示"世"的名称英文词尾都是"-cene"，是希腊文 kainos，原意为"最近的"。更新世始于200万年以前，全新世约始于1万年以前，人类文明萌芽时期之前不久。

如果说中生代是爬行动物的时代，那么新生代就该说是哺乳动物的时代。有一种与犀牛和马相似的哺乳动物称为雷兽，身躯庞大。其中的一个属即俾路支犀属是已知的最庞大的陆生动物。在亚洲发现的遗骸显示它站立时的肩高5.5米，身长超过7.6米。已知最早的马、鲸和类人猿都出现于第三纪。

在第四纪时期，地球表面很大的一部分——地质学家估计约占陆地表面的三分之一——被无边无际的大陆冰盖所覆盖。在四个前后连续的时期内，大陆冰川侵犯北半球。在各个冰川时期中间还有很长的温暖的时期叫做间冰期。在南半球则有雨水泛滥的洪水期。洪水期与北方的冰川期大约发生在相同的时期。

冰川对海洋和陆地都产生了很大的影响。它使海平面下降了大约100米，使大面积的浅海海底外露。它影响世界的气候，并且形成地球新的景观。它造成包括五大湖在内的湖泊，还造成厚厚的冰碛的沉积，或者说泥、砂、砂砾和砾石混杂在一起的沉积。

人类最早出现的时间已经追溯到第四纪。考古学家已经发现了这一时期的人类的头盖骨和其他骨骼，以及石制工具和其他人工制品。

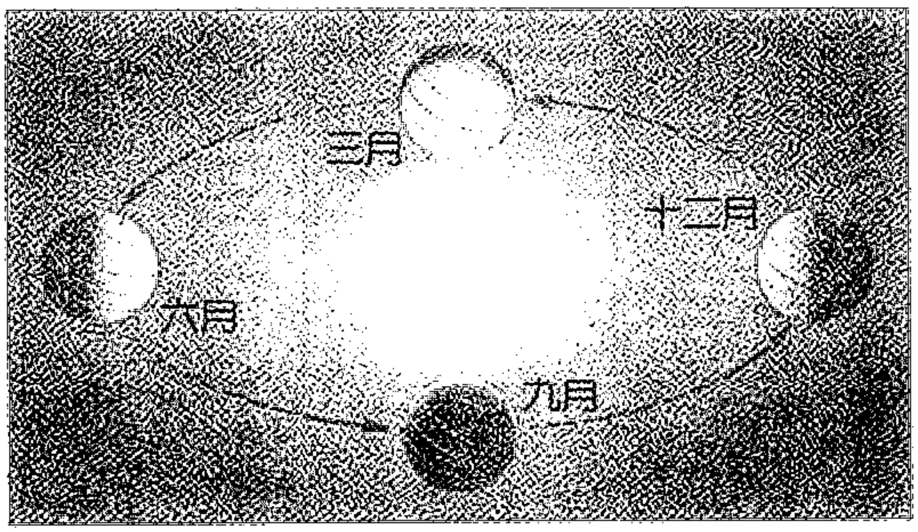
地球的运动

在英语里用 rotation 和 revolution 两个词来表示地球的旋转，这两个词的意思本来差不多是一样的。但是用在描述地球的运动时，两个词却各自用来表示不同的运动。公转（revolution）表示地球沿轨道绕太阳运行一年的运动。自转（rotation）则指地球每天按自己的轴转一圈的运动。

在绕太阳公转时，地球沿一略呈椭圆形的轨道运动。在最近的那一点即近日点上，地球与太阳的距离比平均距离近2%。在最远的那一点即远日点上，地球与太阳的距离又比平均距离远2%。

地球的运动和季节

地球环绕太阳的公转影响季节的变化。季节与地球离太阳的远近不相干。相反，起作用的事实是地球自转的轴与公转轨道的面之间有些倾斜。地球的轴并不垂直于其轨道的面，并不是直上直下的，而是与垂直面呈23°30′的斜角。



永远处于同一个角度的地球轴的倾斜，不时改变到达南、北半球的热和光的量，形成了四季。

虽然地球几乎按圆形轨道绕太阳运动，北极却永远指向太空的同一方向。其结果是，在一年中的某一时节(北半球的冬季)北极偏离太阳。过了6个月(北半球的夏季)北极又向太阳方向偏斜。地球的自转轴保持恒定的原因是因为地球其实是一个巨大的陀螺仪。

地球的运动和时间

地球以太阳为准，每24小时绕自己的轴转一圈。从一天的正午到第二天正午共计24小时。它用365.26天(一年)的时间绕太阳转一周。日历上多数年份是365天，但是每4年有一个闰年，那一年有366天。

如果从北极观察，地球的自转和公转都是逆时针方向的。要是在南极观察，地球的自转和公转都是顺时针方向的。

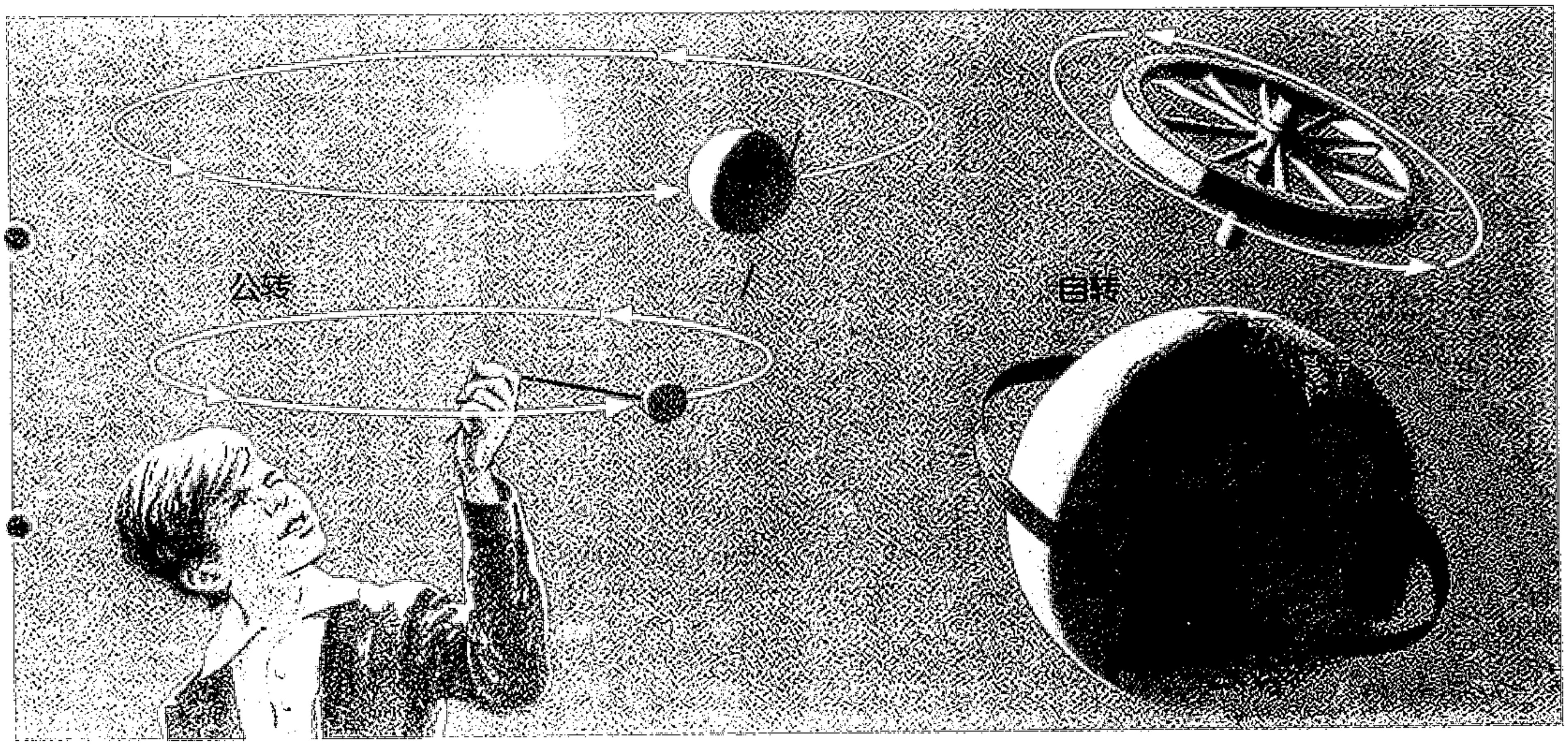
地球的运动和天气

地球的自转对天气的型式有影响。大气从太阳接受能源进行持续的运动。赤道附近的热空气扩散并且上升，接近两极的空气冷却向下沉。如果地球不自转，大气的循环可能很简单。北半球就会有持续不断的北风，南半球就会有持续不断的南风。

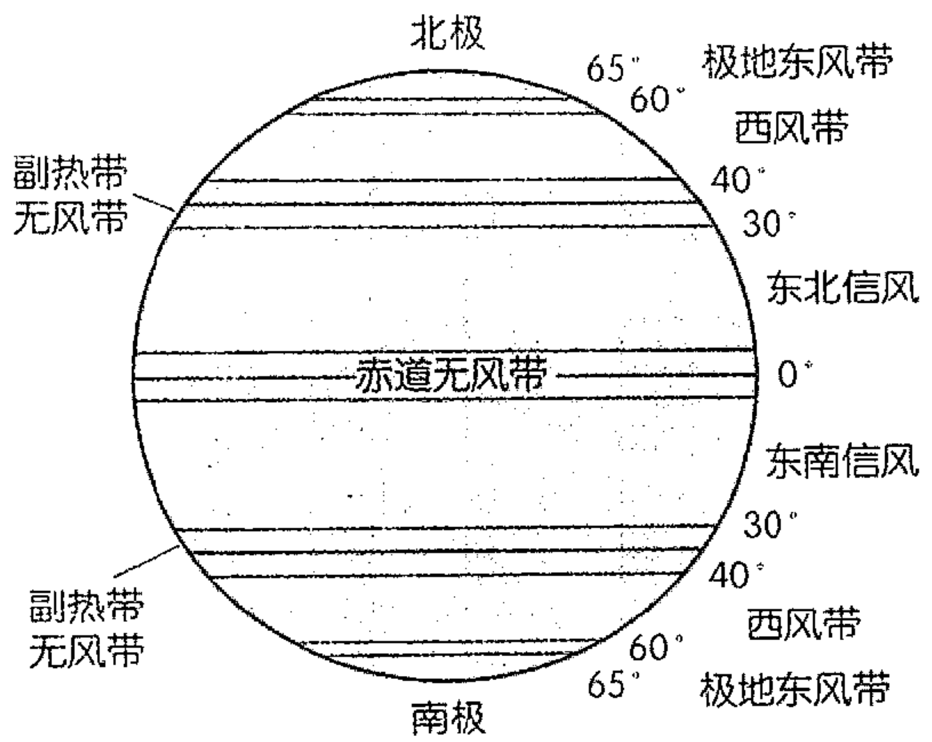
这些广泛的盛行风流还受到气旋的干扰，气旋是大气中像大的旋涡那样的非常大的大团的打旋的空气。聚集于大西洋上的气旋叫做飓风。太平洋上出现的气旋叫台风。

地球的自转由于称为科里奥利力的明显的作用而对气旋产生影响。科里奥利力使在地球表面或靠近地球表面移动的任何物体产生偏移。

在北半球，在离赤道约30°的低纬度地带，地球表面附



地球的公转——每年绕太阳一周的旅行——好比一个球被绳子一端系住之后在转圈。地球的自转好比一个轮子围着它的轴在转动。地球的自转造成太阳从东方升起在西方落下的现象。

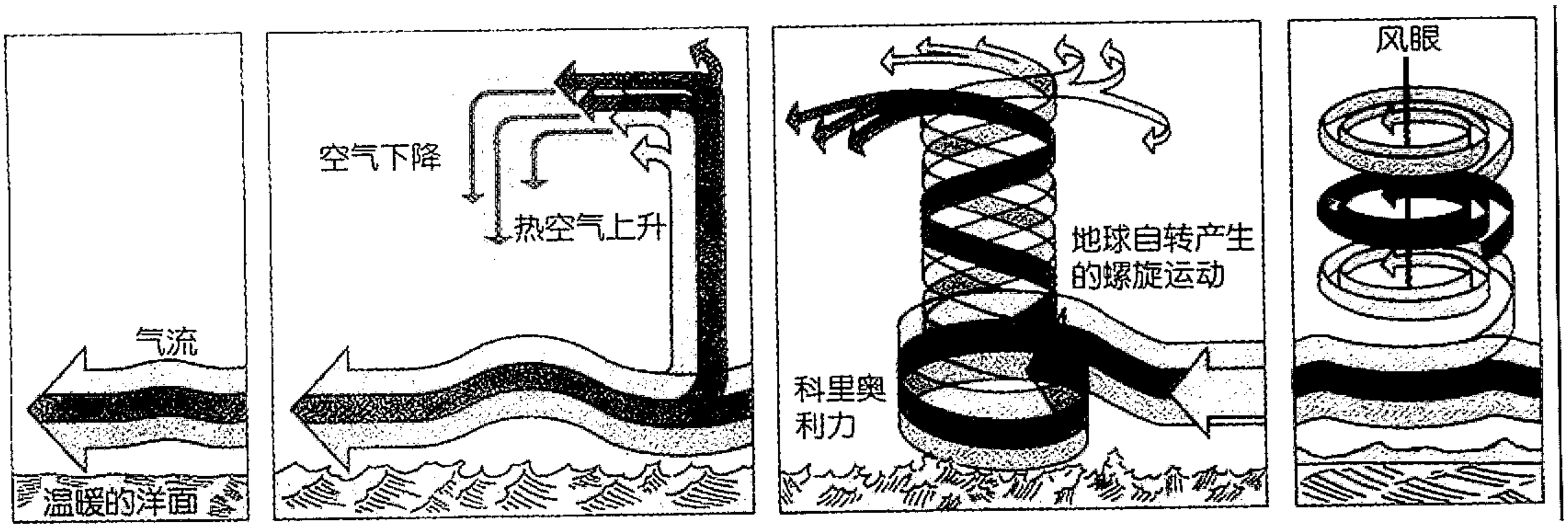


箭头表示地球表面的风的通常的方向。北半球的风是顺时针方向的。南半球的风是逆时针方向的。

近的空气开始它从高纬度地带向低纬度地带一直奔向赤道的旅行。科里奥利力使这股向南移动的风向西偏移，从而产生了来自东方的风——信风。

在北半球高纬度即距离赤道 40°- 65°的地带。地表附近的空气也开始它的由高纬度向极地的旅行。科里奥利力使这股向北方移动的风向东偏移，形成了盛行西风。在南半球也发生同样的现象，但是方向相反。

低压地区可能扩展。它的行为好像一个巨大的真空吸尘器，能把四面八方的空气吸进来。有时候低压作用和科里奥利力结合起来产生出强烈的回荡运动，形成巨大的风暴，例如飓风。



飓风形成于热带海洋上空。通过洋面的气流获得热和水分后升高。因地球自转而产生的科里奥利力使上升的气流以逆时针方向旋转。气流可以到达很高的高度以后才下降。在运动的气流的中心是风眼，这是一个平静的区域。

地球的运动和磁场

许多科学家认为地球的自转可能是导致产生地球磁场的因素。科学家根据对地震波的研究推论地核呈熔融状态。他们还认为地核一定是像铁这样的重的物质构成的。还有可能这个庞大的慢慢移动的熔融铁的涡流是在地核里回荡着的。地核的特性是由地球内部放射性元素所产生的热和地球的自转相结合的结果。

如果这个理论成立，它可以说明地球的磁场现象。地核里的熔融铁回荡的涡流所起的作用就好像一个电磁体，它可以产生磁场。

地球的运动和万有引力

万有引力是控制地球在太空中运动的最重要的力量。它也使月球沿轨道绕地球运动，也使地球和所有其他行星沿轨道绕太阳运动。科学家还明白了太阳在银河里的运动也是受万有引力支配的。他们认为万有引力可能是解释银河系、恒星和行星起源的一个主要因素。

万有引力是双向的引力。太阳的引力使地球沿着它的轨道运动。地球也对太阳产生相等的——但是方向相反的——引力。在地球与月球之间也同样有相互作用的引力。

月球的引力对整个行星地球起着作用。月球绕地球旋转是由于地球的引力，同样，地球也因为月球的引力绕着月球旋转，只不过程度比较小而已。旋转的程度有大有小，是两者的质量的差异造成的。地球的质量是月球的 81 倍。因此当月球在轨道上绕地球一转的同时，地球作出应答绕月球轨道旋转只有$\frac{1}{81}$那么远。

地球-月球系统旋转的真正的中心大约在地球表面以下 800 千米的地方。设想有一根硕大无比的针穿向地球，只略微穿过地球的边缘，它与地球实际上的轴大致平行，但距地轴约有 5 600 千米远。地球和月球就是绕着这根针旋转的。地球的中心与月球的引力保持平衡。月球的作用使地球的运动复杂

化了。地球不是平稳地绕着太阳旋转，它在与月球的联合轨道上每个月都有一些“颤动”。（参见：**万有引力**）

月球引力使地球上两边产生海潮。在靠近月球的一边，引力的作用强，大量的潮水被月球拉过去。与此相反，在远离月球的一边，月球的作用力弱，潮水向远离月亮的方向拉开。

太阳对潮汐也有影响。太阳潮比月球潮弱得多，这取决于太阳与地球的相互引力作用。每个月有两次太阳潮与月球潮互相结合。这时候就发生地球上最高潮汐和最低潮汐。

地球的岩石体也有自己的潮汐。这种固体潮比海洋潮汐弱得多，只有通过为测定固体潮专门设计的精密的仪器才能测得出来。

变化着的地球

地球的重要特征似乎是固定不变的。巨大的山脉、漫长的河流峡谷、广阔的平原，自从有历史以来就是这样的。看起来什么都没有变，其实变化是持续不断的。微小的变化几乎天天都能看到。在一座小山脚下带泥的小溪在一场暴风雨之后把泥土从一个地方搬移到另一个地方。突然吹来的风使尘土和泥沙飞扬，它们落下来的时候已经换了地方。

偶然也会发生引人注意的变化。火山爆发的时候熔岩向周围地面流开来，在这些地面上覆盖一层厚厚的新造的岩石。地震使地球的地壳破裂，使地壳的一部分滑动，移动到新的位置。

在一个人的一生里，或者甚至在有历史记载的世世代代里，与造山运动或者大草原的延伸扩张那样的变化相比较，上述这些变化看来都是小的变化。但是人类的有记录的历史，只是地球历史中的一个短暂的时期。科学家相信地球已经存在了大约 45 亿年之久。人类有记录的历史只不过 6 000 年，只是地球年龄的 0.0000013。有足够的证据证明，地球的表面在它最初形成之后，已经发生了很大的变化。甚至现在它也还在继续发生变化。

风化作用改变着地球

风化作用是指大块岩石破碎成为越来越小的石块，最后成为土壤。有的风化是机械性的。某些种类的力作用于岩石，使它破裂的时候就发生了这种机械性的风化。

机械风化作用可能发生在岩石上有微小的缺陷、往往是细微的裂缝的时候。有的时候是一棵树或者一株灌木，或者任何种类的植物的一根细细的根钻进了这个小裂缝。这个细根生长的时候，它产生楔子样的作用，终于使石块破裂。有的时候水渗进细微的石缝并且留在那里。如果水结冰了，它的体积增大，在受限制的空间里产生很大的压力。虽然这个细微的石头缝里只存了不多的一点水，它产生的压力也足以使石头裂开。

温度的变化以及极冷极热也促使石头破裂。外露的石块日间被太阳晒着，受着热，夜晚被冷空气冻着。季节的转换，例如夏季的酷热和冬季的严寒，也是作用于岩石的外力。石块的表面受热膨胀，受冷收缩。岩石的内部却因为受外部的保护没有起什么变化。变化的外层和稳定的内层之间的受力不同也足以使岩石裂开。

化学风化作用发生于岩石里的化合物与水或与大气中的元素起反应的时候。多数岩石里都有某种形式的铁。大气气体之一的氧气与铁迅速发生反应，产生铁锈。外露岩石里的铁的氧化促成岩石破裂。

空气里另一种气体二氧化碳与渗入岩层的水相结合形成碳酸。二氧化碳与各种矿物质结合成为碳酸盐，碳酸能够溶解碳酸盐并且将它带走。这个过程使岩石变得松软，使整个石块结构最后崩解。

水也会通过水合作用使岩石风化。在水合作用过程中，某个矿物质的分子吸收水分子形成一种新的矿物质。新产生的矿物质往往比原有的矿物质软些，岩石的结构因此又一次被毁坏。

甚至风也能造成风化。在沙漠里风把砂粒吹到附近山岳的岩石表面。喷砂作用使山上的岩石受到磨损。

地质学资料表明，地球上全部岩石原来都是火成岩。这就是说，它们最初都是熔融状态的。某些熔岩还停留在地表之下。但是另外一些被抛出地表，经受风化，使原来的岩石破裂成为细小的粒子。

侵蚀改变着地球

侵蚀是风化之后发生的变化过程。在这个过程里，物质从高处向低处移动。水的流动是造成侵蚀的最通常的因素。山里的溪流把称为沉积物的风化的岩石和碎屑带到峡谷里。这种沉积物有许多还被一路带进大海。

侵蚀的例子是常常可以见到的。例如下暴雨的时候花园里土壤被冲刷流失，小山丘脚下形成泥潭，街道两边阴沟里流走泥沙，例如小溪和河流因为携带着侵蚀粒子颜色变得混浊。这些都是固体粒子从一个地方转移到另一个地方的证据。

雨是很大的一种侵蚀力。例如，一个雨滴冲击地面的时候，它的速度最大可以达到每小时 40 千米。地球上平均年降雨量约为 840 毫米，它对地面产生的压力约为每平方厘米 70 克。在自然肆虐的极端情况下，一场暴雨会使每平方米土地冲走 22.4 千克泥土。

一条河把周围广大地区的水收集在一起，这个地区称为流域。例如密苏里河和密西西比河系的流域包括美国的几乎整个中部平原。落在平原地区的雨水被这个河系收集，经过一段时期以后，流进墨西哥湾。

部分雨水通过蒸发返回大气。部分雨水渗入地下，在地下流进河流。但是很大一部分雨水流过地球表面。一切流动的水，无论是花园里的小溪或者是汹涌的江河，都在它流过的地方带走砂子和泥土。土地因此逐渐遭受侵蚀，被搬运到海洋里。

快速流动的水比缓慢流动的水更快地侵蚀土地。湍急的山涧比平原上缓缓流动的河流搬走更多的土壤。美国除西南部因为雨势较小之外，山脉和丘陵往往比平原侵蚀的速度快得多。

有的时候侵蚀迅速而且令人惊奇。成吨的物质以山崩、雪崩的形式从山上坍塌滑落。这往往是因为部分基础结构被水浸软造成的。山崩多发生在大雨之后。有的时候发生山崩是因为水结冰又融化，致使山腰部分岩石结构破裂和松动。

陆地上大量的物质被侵蚀后是河流把它们带到海里去

的。这些物质是一种叫做淤泥的很细的颗粒。因为河水不断搅拌的涡旋运动，淤泥在水里是呈悬浮状态的。即便流得最慢的河流也有一定的涡旋运动，也能带走淤泥。

江河进入海洋的时候，涡旋运动停止，淤泥渐渐作为沉积物沉到海底。有些地方河流进入大海的时候，淤泥沉积在大洋边缘，结果形成一个三角洲。在密西西比河和尼罗河河口处就有两个有名的三角洲。

亚马孙河也携带着大量的淤泥，但是它的河口并没有形成三角洲。这是因为亚马孙河流进了拥有高潮汐的大西洋。密西西比河流入墨西哥湾，尼罗河流入地中海。这是两个比较小的海洋，几乎没有什么潮汐运动。潮汐运动产生涡旋运动，使淤泥始终保持悬浮状态，一直被带到远远离开海岸的地方。到那时候淤泥才慢慢沉入海底。

河流每天都把许多吨淤泥带进海里。这说明地球表面的物质在不断地重新分配。过了千百万年，上面压着山岳的这部分地壳的重量减少了。大江大河河口附近的物质重量增加了。河口附近地壳部分趋向于往下沉没到凹陷的地幔里去，减轻了重量的山岳底下的地幔则趋向于冒上来。就像地壳均衡学说预测的那样，大陆架的沉重的边缘将继续不断下沉，山脉将继续不断上升。

虽然有这样的学说，这样的变化却并不一定发生。例如阿巴拉契亚高原虽然不断地被侵蚀，它却不再往上升高。这表示地球内部还有其他的促使变化的力。侵蚀产生的物质运动只不过是造成地壳外形的许多因素之一。

冰川也产生侵蚀。冰川是冰体，它形成于高山，山峰上的雪从不融化，年复一年全都积累在一起。顶层的雪的重量把下层的雪压成冰。冰雪越积越厚，地心对雪层和冰层的引力也越变越大。

最后，主要由于引力的作用，冰雪逐渐向山腰滑落。山上的新的雪使冰川不断地得到补充。

这个冰体有时又称为冰河，它的流动速度比液态的水构成的河流慢得多。向下滑的冰有的一天才滑动一个厘米左右。然而夏季有的时候一天可以向下滑动 15 米以上。不管流动得快还是慢，冰河是一股强大的侵蚀力量。它擦损流过的峡谷两侧，挟带走大块岩石和巨砾。在冰下面的巨砾被冰川推着往前走，形状往往变得又圆又滑，就像被琢磨过似的。冰川下面的一些岩屑被磨成细细的粉粒，有时被称为冰川粉砂。

在地球最北面和最南面的冰川一直流进海里。它们像地面上的河流一样，把侵蚀的物质带到海里，让它们沉到大洋底部。

地震改变着地球

侵蚀改变地表形状是一个缓慢的长期不断的过程，但是地震和火山却使地形迅速发生变化。地震和火山集中在跨越地球表面的相当狭长的地带。地质学家认为这个事实极其重要。就在这些地带存在着年轻的正在上升的山系。

发生地震的时候，地壳里两个邻近的块体突然滑动，一块朝这个方向滑动，另一块朝相反的方向滑动。它们滑动分开的地方称为地震断层。断层可能是直上直下的，也可能是以某个角度倾斜的。

在滑动的时候可能有许多种运动方式。一种是垂直位移，一边朝上另一边朝下移动。第二种方式是横向位移。加利福尼亚州的圣安德烈斯断层是这种运动方式的例子。与断层东侧的地面相比较，断层西边的大块地面向北面移动。第三种方式是挤压作用，在一个宽阔的断层地带，它使两侧的块体相互靠得更近。两者之间出现褶皱和折曲，出现复杂的破裂系统。还有一种可能发生的运动方式是分离。在这种情况下，两个地壳块体彼此分开，就像死谷那样，有两条山脉作它的边界。看起来地震的发生总是那样突然，但诱发地震的力却是许多年积聚起来的。岩石层积累起应力，这力量可以使岩石层弯曲。在到达应力极限的时候，岩石层就破裂了。

火山使地球发生变化

火山像地震一样能使地球的表面面貌突然发生变化。火山爆发的时候，灼热的熔化的岩浆和火山灰通过地表上的裂口或裂缝从地球内部向外喷涌。熔岩从裂口喷出来沿着地表流动，把路上的一切东西都盖住。火山灰喷出来，落到附近地方成为厚厚的一层。但是其中的细微火山粉尘被强大的喷发力所驱使，一直飞入大气层。风可能把火山灰吹到几百千米以外。

火山熔岩成为固体后，称为火成岩，意思是说这种岩石是高温造成的。地壳的许多部分是火成岩，但是其中来自火山的只占一小部分。火成岩多数形成于地表之下，地球内部的熔岩被推上来，但是在地表之下它就冷却了。

沉积岩是另外一种类型的岩石，它出现在地球表面或者靠近地表的地方。沉积岩是侵蚀造成的。它通常由火成岩构成，是山岳和丘陵的火成岩经过风化和侵蚀形成的。

地球的起源

地球是什么时候形成的？怎样形成的？人们对于这个问题有很大的兴趣。这个问题直到现在还没有完全令人满意的科学解释，但是已经有了几种学说。

双星学说

双星学说认为地球可能形成于两个恒星彼此距离很近地通过的场合。两个恒星的引力都使对方表面涌起巨大的物质潮，大量物质可能被吸引出表面。这些物质可能环绕各自的恒星旋转，到后来终于凝成固体成为行星。

科学家用计算机来验证这个学说。他们的结论是这两个恒星相互通过以后，被吸引出来的物质大部分又重新回落到原来的恒星上。如果有物质在恒星外面环绕恒星旋转，它的数量也是非常小的。

星云学说

许多科学著作讨论了太阳和行星是尘埃和气体的巨大星云缓慢凝结而形成的学说。这样的星云存在于银河系和其他的星系。有理由认为引力使云的粒子逐渐汇集，而当它的体积增大的时候，相互间的引力也增大了。这种对尘埃和气体云的观察正是太阳系起源的星云假说的基础。

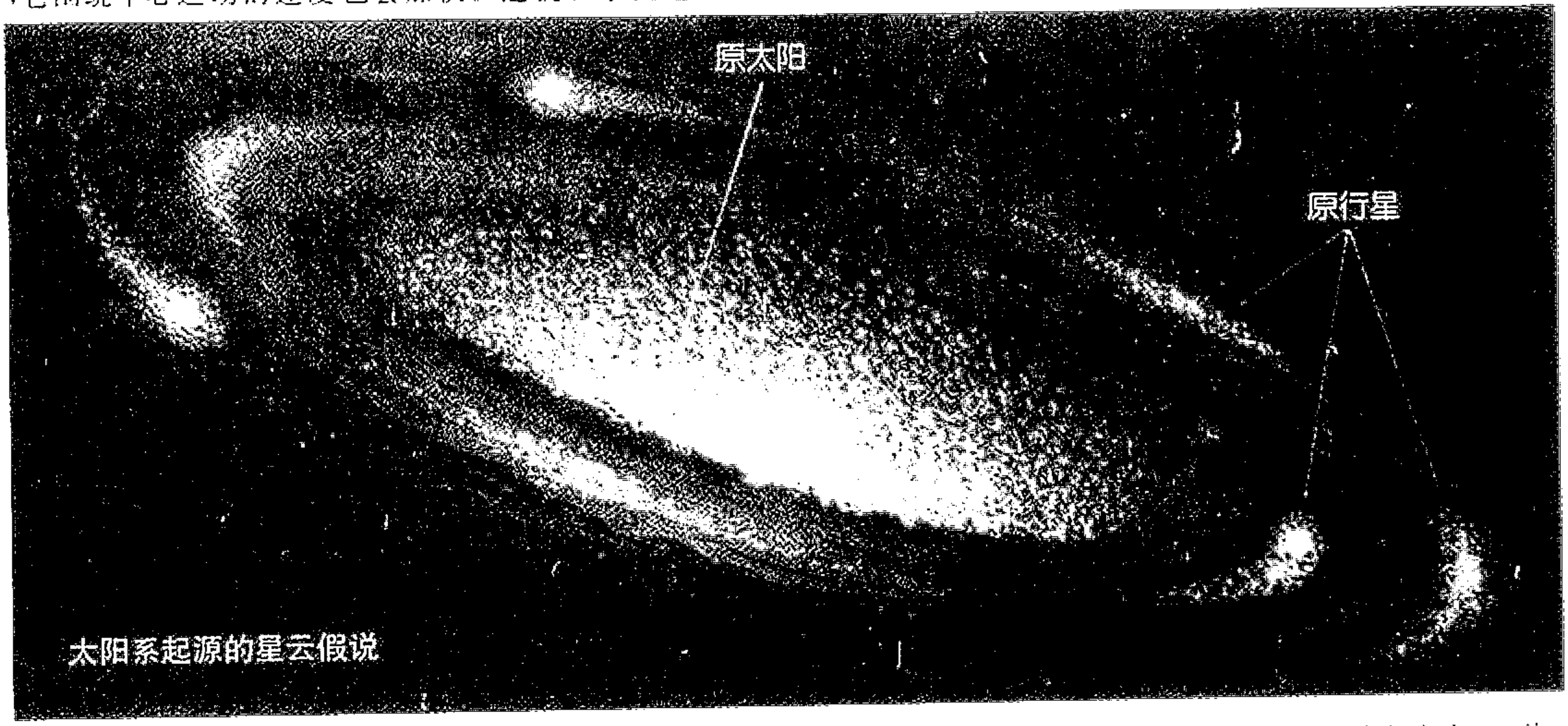
在气体尘埃云因为自己的引力作用变得较为密集之

后，粒子彼此更加靠拢。它们也会开始围绕中心越来越快地旋转。

刚开始的时候，虽然多少偏向一个方向，这些粒子还是各有各的运动方向和速度。经过不断地相互碰撞，它们的速度变慢，同时变换方向，终于慢慢形成一个旋转的圆盘。

每一次碰撞都使粒子丧失它的少量动能而且变热。粒子在失去能量的时候，它将更加移近圆盘的中心。与此同时，它围绕中心运动的速度也会加快。这就和水流进排水沟里发生的情形一样。离排水沟远的水看起来并不旋转，但是在排水沟中心附近的水流像一个小小的旋涡。在太阳系形成的时候，这个中央的旋涡就成为太阳。它周围有一个由气体和尘埃构成的旋转的圆盘，多少有些像土星的环。

这个学说认为在此以后还有第二、第三个阶段。其他密集中心开始产生。其中有的成为行星，有的成为围绕行星运行的卫星。出现了一些解释行星起源的学说，但是没有一个学说使人完全满意。



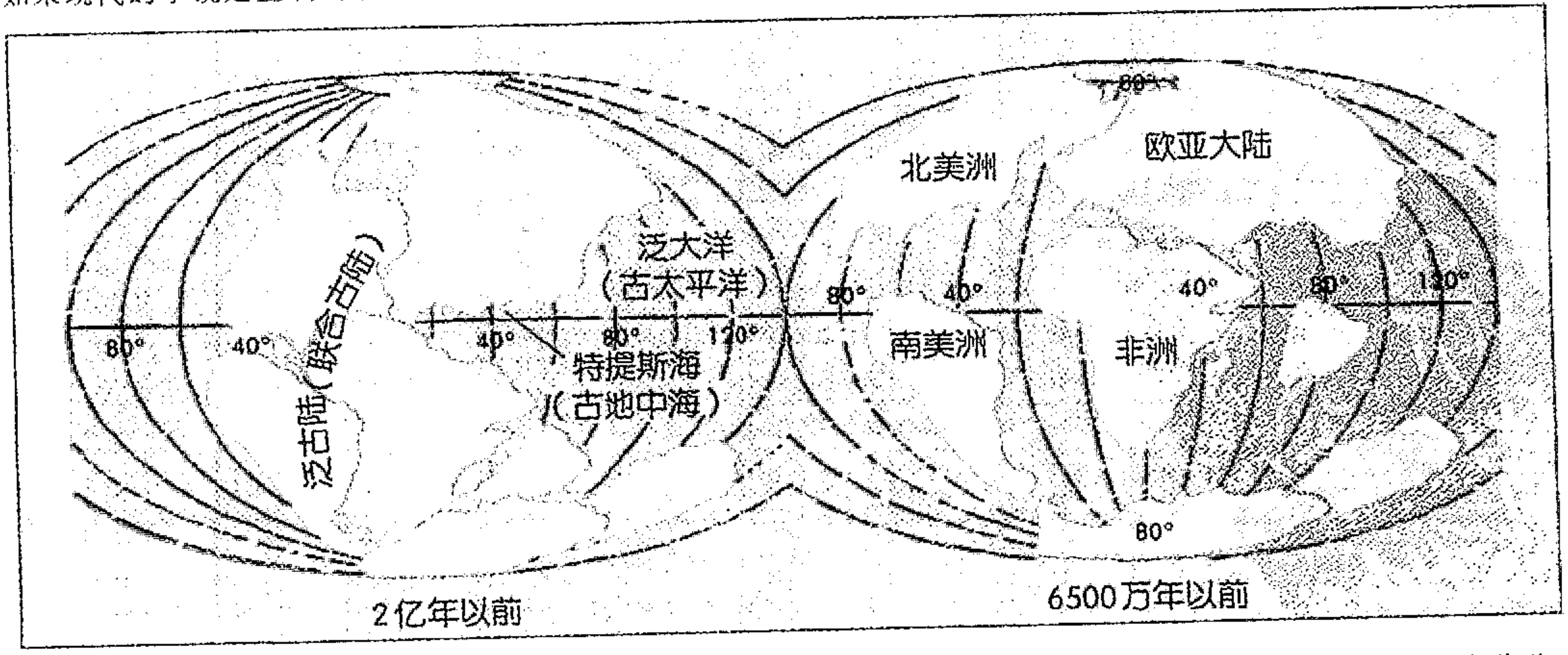
按照太阳系起源的星云假说，由尘埃和气体形成的旋转云受到引力作用聚集到一起，最大的旋转物质成为太阳，其他物质最后成为一个个行星。

多数科学家相信星云假说基本上是正确的。但是还有许多细节不能用这个学说来解释。

年龄学说

在有关地球起源的各种学说中，年龄总是一个重要的要素。如果现代的学说是正确的话，整个太阳系的各个成员的年龄都差不多一样。它们的形成彼此相距不会多于几亿年。

科学家根据岩石里各种放射性元素的比来测定地球的年龄，测量得到的最古老的岩石大约是 33 亿年。但是没有人知道这算不算是地球上最古老的岩石。对月球岩石和对陨石的测量表明它们的年龄大约是 45 亿年。科学家认为这是太阳系的实在年龄，也大约是地球的实在年龄。



上面的地图是根据用计算机处理的资料重建的，显示今天的大陆可能原来是一块巨大的陆地。大陆漂移学说只是有关探讨地球怎样演变的诸多学说中的一种。

大陆漂移学说

20 世纪的大陆漂移学说当中最广泛地被接受的一派观点认为，各个大陆最初是一个大板块。这个大板块在大约 2 亿年以前破裂。大小不等的块体漂移开来，漂浮在支持它们的地幔的顶层上面。这个学说的最显著的证据是：北美洲和南美洲东部大陆边缘与欧洲和非洲西部的大陆边缘竟是完完全全地吻合的。

海洋学家对大西洋底部的测量也发现了支持大陆漂移学说的证据。他们发现大洋底部与铁矿矿脉相连接的小磁场。同样的磁场在大陆的岩石里也有发现。它们是矿物质凝固的时候被"锁在里面"的。

这个磁场起初与地球磁场是一致的。岩石凝固以后，它们在地壳里移动。它们虽然还具有自己原来的磁场，但是已经不再受地球总磁场的影响。被锁在里面的磁场的图使人们有可能判断一大片岩石最初凝固的时候的位置。

对大洋底部进行的测量表明它从中央向两边延伸。这一点成为大陆向两边分开的学说的最重要证据。

大陆漂移学说也被用来解释地震、火山和造山运动。美国的西部边缘和亚洲东部边缘似乎标志地壳上移动的板块的边界。这个学说认为，这些板块在地球的表面慢慢地移动的时候，它们沿边缘会裂开和破碎。可以认为因此地震集中发生在这些地区，也可能因此这些地区附近造成年轻的山脉。

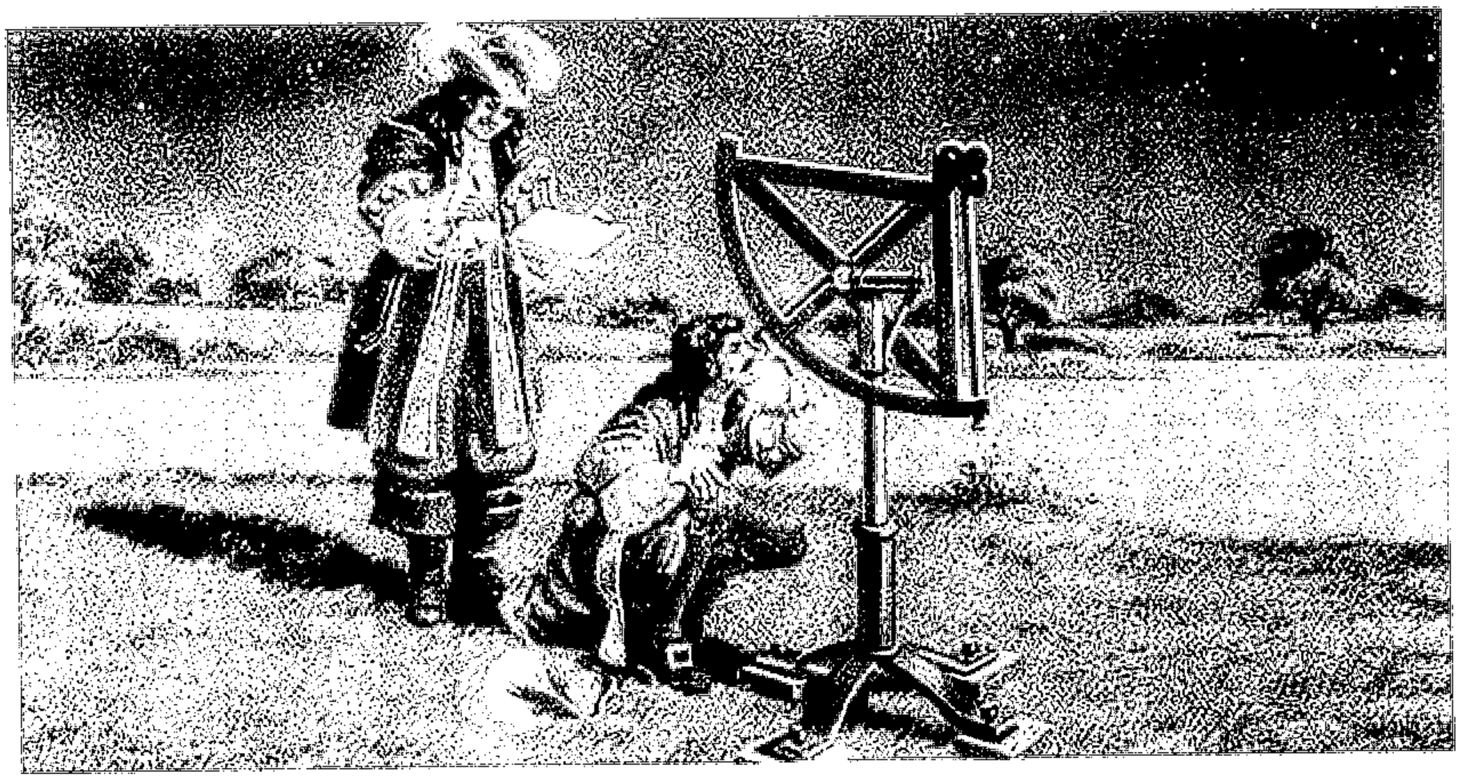
这也可能是这些地区出现火山的原因。移动的板块之间摩擦生热。这个热可以将下面的岩层熔化，将它们变成岩浆。岩浆可能被压力推出地表成为火山喷发出来的熔岩。

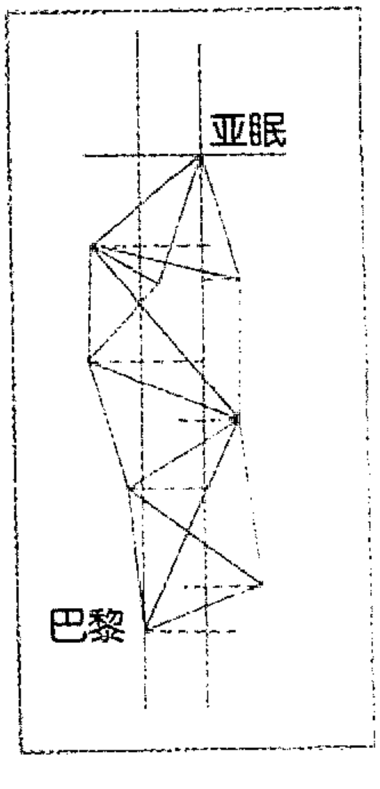
科学家研究地球

地球科学包括许多专门学科和研究领域。这些学科相互交叉，其中一门学科的发现常常被应用于另一门学科。

地球科学的发展

地质学是地球科学全部领域中范围最广泛的一门，它的历史也最古老。希腊哲学家对大地的形成和起源提出了许多学说。古希腊科学家埃拉托斯特尼第一个对地球的直径做出了准确的推算。





17 世纪法国天文学家皮卡尔首次用三角测量方法准确地测量出两座法国城市之间的距离。左图是皮卡尔用的仪器，右图说明他使用的三角测量法。皮卡尔在一本 1671 年出版的关于测量地球的书里发表了经度一度之长的数据。

火山和地震给古代哲学家很深的印象。他们对这些现象的解释，对今天的大多数人说来是十分奇怪的。例如亚里士多德推测地震是地球自身的热和来自太阳的热共同引起的地球内部的风造成的。他认为火山是这些风最后逃离地球内部进入大气的口子。

从文艺复兴时代人们开始对地球的详细情况和它们包含的意义进行了认真的观察。文艺复兴时代伟大的艺术家达·芬奇进行了许多这样的观察。

17 世纪的法国哲学家和数学家笛卡儿首先对太阳系的起源提出了现代的学说。他认为行星是岩石和气体的热球凝集形成的，它们原本有些像太阳。

到了 19 世纪，地质学家开始专门化了。古生物学家集中研究化石展示的历史。矿物学家对岩石进行深入的分析。

英国的工程师 W. 史密斯是这个时期的智慧巨人之一。他差不多是出于一种爱好，绘制了一幅完整的英格兰地质图。他的工作和方法是对地质学的巨大贡献。

达尔文是古今最著名的科学家之一，在他的研究生涯里他把地质学与生物学结合起来了。他起初是一位地质学家，但是却以生物学家——进化论的创始人——传名后世。

地球科学的若干主要学科

在 20 世纪里，主要因为知识的增长，发生了进一步专

业化。此外，专业研究工具的发展使许多领域的深入研究成为可能。除了这里列举的学科之外，还有应用地学的各个领域，例如工程地质学。

地球物理学家研究地球，尤其是地球深处发生的物理过程。

矿物学家深入研究岩石的性质。他们查明矿物的成因，发现确定矿物位置的线索。

地球化学家研究岩石的化学，解释矿物质，例如金矿或银矿矿脉里发生的集聚现象。

地层学家将造成全世界形形色色岩石结构的不同类型的岩石岩层绘制成图。

地震学家和火山学家研究地壳的剧烈的运动——地震和火山。

海洋学家研究海洋，研究海水和大洋盆地。

气象学家研究地球的大气层、天气以及天气对陆地的影响。

古生物学家研究古代植物和动物残骸的化石。这方面的发现是制定过去的6亿年的地球历史年表的基础。

撰文：Albert R. Hibbs 和 Donald Wolberg

新开拓地 FRONTIER

它是文明进入荒野的地方；它是一条狭窄的地理学的分界线，那里古老的和新生的、经过考验的和没有经过考验的互相交会，各自获得新的形式；它通常是充满危险的，往往是使人激动的。它被人称为新开拓地。

新开拓地从来不是静止的；它永远是以文明为其后盾，向前方的荒野挺进的锋利的刀刃。人们一朝定居，它就不是新开拓地了。新开拓地不是荒野，大片大片公地、森林和山岭为开拓者的生存提供机会。而机会正是开拓者的追求。他们体现对旧时的限制与传统的摆脱，进入一个人们可以根据自己的条件获得成功的地方。

开拓地是逐渐形成的。首先是新的发现。古代腓尼基人从巴勒斯坦向西航行，发现殖民地，其中最著名的是迦太基。来自雅典和其他城邦的希腊人在西西里岛和意大利南部兴建殖民城市。但是最伟大的发现是中世纪末年哥伦布来到(连他自己也没有弄明白的)西半球。

发现之后是考察。在一个不知道究竟有多么大的新大陆出现在欧洲各国面前的时候，这些国家派出考察人员去调查，去寻找财富，在有些情况下是去占领。这些人的名字富有传奇性，他们是：巴波亚、瓦卡、利昂、德·索托、科特兹、皮扎罗、科罗纳多、卡伯特、史密斯、德雷克、雷利、卡蒂尔、赫德森、拉萨尔，以及其他许多人。

但是创造新开拓地的既不是发现者也不是考察者，而是开拓者。他们是一些向前途未卜的地带快速前进，打算在那里安身立命的人们。开拓者是农场主、牧场主和采矿人——那些后来发展为城市的村镇的缔造者，什么时候这些开拓者完成了一个新开拓地的建设，什么时候永久性的住宅、学校、教堂、商业、报纸都建立起来了，这里就不再是新开拓地了。新开拓地的寿命不会长久，除非它搬到别的什么地方。什么时候再也找不到“别的什么地方”了，新开拓地的时代就成为历史。还会有残留的荒野，但是这些地方已经被文明包围和渗透了。

新开拓地的类型

像“新开拓地”这样的字眼被用在这样一些名词里，例如“科学的前沿”或者“医学的新领域”。这些表达方式很吸引人，科学的各个分支确实在努力从已知的领域走向未知的领域，但是真正意义上的新开拓地指的是实实在在的地方，是一部分人已经去了，或者想去的地方。

本文特别强调陆地、海洋、空间三种新开拓地的差异。人们通常理解的新开拓地指的是陆地上的新开拓地，因为陆地是任何人可以设法前往的地方。想要进入海洋和空间的新领域，需要尖端技术，而这就不是每个人都具备的。但是随着技术障碍的克服，即便是这些目前还在发现和考察阶段的新领域，也将对人类开放，供人们居住和经营事业。到那个时候它们将成为真正的新开拓地，而不是今天这样的渺无人烟的荒野。

陆地新开拓地

在过去的三个世纪里，若干个国家向一些新开拓地殖民，或者至少是开发自然资源。众所周知，美国的西进运动使定居东海岸的人群连绵不断地移民到太平洋这边来，肯定是最著名的。但是加拿大、澳大利亚、俄罗斯、南非等国家也都有各自的新开拓地。

美国

历史上很少有过像发现新大陆这样大的冲击世界的事件。在千百万人眼里，这是长期被困阻在备受限制的、不愉快的社会里的人们的最美好的希望。因为在原来的社会里，个人发展的机遇已经随着时间的推移消逝了，对于愿意并且有能力通过自己的双手创造未来的人们来说，美国的新大陆是一条出路，是一个充满希望的地方。

从那个时候起直到现在，那些赞美在美国发生的英雄的西进运动的诗歌、短篇小说、长篇小说、戏剧、电影、音乐和绘画一直都在激发各个地方的人们的想像力。有些人警惕地来到这里，得到满足的快乐。许多人期望的并不是真正的新开拓地。真正的新开拓地的生活是艰苦的。平常的生活条件这里多数都不具备。人们只好利用可以得到的极其有限的生活条件，设法对付着过日子。那里的生活标准属于赤贫，至少在新开拓地让位于文明之前是如此。

美国的新开拓地是一步一步向前推进的，最初是东部的定居地，亦即最早的13个殖民地。美国革命以后，开拓者逐渐穿越阿巴拉契亚山脉，到达俄亥俄河和密西西比河河谷地带，后来，在19世纪中叶，渡过密西西比河。然而定居活动并没有直接穿过大陆，而是尽快涌向加利福尼亚，因此大草原和落基山脉的多数地区暂时被撇在一旁了。涌向加利福尼亚是涌向新金矿。淘金热和墨西哥战争将加利福尼亚与整个西南地区都划进了美国的版图。19世纪末开辟新疆域已经结束。

命定扩张论 1845年7月，在将得克萨斯并入联邦的鼓噪声中，《合众国杂志与民主评论》的编辑J. L. 奥沙利文撰写了一篇社论，文中谴责其他国家“宣称的最终目标是要

干预我们的政策、遏制我们的权力、制止我们的壮举，阻挠我们实现命定扩张论，即在神赐予我们的大陆上伸展，促进我们每年成倍增加的几百万人的自由发展。”也许这是第一次使用“命定扩张论”的措词，但是这个词所包含的主张却是1845年以前早就流行了的。

由此引起的对英国企图制止殖民者越过阿巴拉契亚山脉定居的不满，是导致美国革命的原因之一。《1763年宣言》对此有所说明。革命获得成功之后，美国新政府立刻按照联邦法规开始制定增设新建州的计划。由于需要对西部的领土制定明确的政策，1787年7月13日通过了《西北地域法令》，将俄亥俄河谷以北部分作为附属领地，为建立新的州作好准备。

这条法令以及在它以前的1784年和1785年通过的法令，创立了有关获得土地及安排使用土地的政策，直到领土扩展到太平洋沿岸时美国一直履行这一政策。这一政策产生了数不清的新开拓地，直到联邦增加了35个州。到了20世纪中叶，又增加了两个州：——夏威夷和阿拉斯加。

杰斐逊购买路易斯安那 对“远西地区”第一次官方考察开始于1803年。这一年T.杰斐逊总统命令M.刘易斯和W.克拉克去寻找密苏里河的源头。他们开始考察之前，就听说美国已经从法国手里买下了称为路易斯安那的庞大的西部领土。

1804年和1805年，刘易斯和克拉克带人到密苏里河源头考察。他们越过落基山脉——路易斯安那的西部边界——顺着哥伦比亚河到达太平洋海岸。

1805年冬季Z.派克受命从圣路易斯出发寻找密西西比河的源头。源头所在的湖泊与沼泽地区当时被厚厚的冰和雪盖住了，他没有发现真正的源头。但是他带回来不少有关圣彼得河或明尼苏达河河口地方的信息。

1806年夏季派克又奉命出发，这次是去寻找雷德河与阿肯色河的源头。他还是一个源头也没有找到，但是他看见了后来被称为派克斯峰的高峰。他还在科罗拉多州南部上溯到格兰德河的发源地。他在这里因为越境进入西班牙领土被西班牙士兵逮捕。没有任何理由把格兰德河西岸的地方说成是路易斯安那的一部分。派克于是一半作为囚徒，一半作为客人，穿过墨西哥的北方省新墨西哥以及得克萨斯，1807年平安无恙地被送回美军在纳基托什的营地。不久以后他出版了一本书，这本书激发了密苏里边境商人到圣菲去赢得西班牙移民的市场的干劲。

荒漠的限制 远西地区的一般情况现在已经知道了，但是并没有出现急忙占领它的移民潮。路易斯安那于1812年成为一个州，密苏里州则建立于1821年。后来先后接纳了密西西比河沿岸的三个州：——阿肯色州(1836)、衣阿华州(1846)和明尼苏达州(1858)。在1850年以前，没有认真进行密苏里州以西建立新的州的行动。

在此期间联邦接受了早期考察者们以及1819年和1820年穿过大草原的斯蒂芬·朗的论断。他们的意见是在密西西比河各州以西地区农民无法定居。那里几乎没有造房子的树木。降雨量太少，作物难以生长。有些地方有许多岩石或者是山地。另外的地方岩石和沙土裸露，遍地是杂草和山艾灌丛。教科书把这样的地方称为“美国大荒漠”。这里有大量的野生猎物出没。每年春天成群的野牛边走边吃草来到大草原上，每年秋天离去。这里还有许多别的动物，到过这里的人无不为其数量之多而惊奇。印第安人骑着敏捷的矮种马追逐漫游的牛群，这些马是西班牙的考察者释放或走失的马的后裔。在密西西比河东边和密西西比河西边的新建的州里发展了农业新开拓地。远西地区在随后的几十年里一直是印第安人和野生动物的天地。

传教士和商人 在美国人开发远西地区以前，法国人和西班牙人早就知道这个地方了。进行考察的传教士和士兵们多次到过这里。商人是被毛皮贸易的利润吸引来的。他们从新奥尔良费力地沿河而上，直到圣路易斯。又从圣路易斯设法通往落基山脉。他们还从魁北克和蒙特利尔，从哈得孙湾的沿岸来到这里。他们说服印第安人生产毛皮，并且派人设陷阱捕捉野兽。他们雇用的捕猎者走遍大草原到处搜索，深入山区到处寻找设置陷阱的理想场所。远在勘测人员到达这里绘制地图以前，他们就知道这些地区的许多细节。

当远西地区成为联邦的一部分以后，政府需要保护美国公民的毛皮贸易。政府设法把外国捕猎者赶走，特别是哈得孙湾公司的人。J.J.阿斯特是一个纽约的商人，他带头组织美国的毛皮公司。建立了用栅栏围住的贸易站，与印第安人进行贸易。

每年把给印第安人的货物运到贸易站来。毯子、枪支、火药、工具、针、念珠，以及印第安人缺少和需要的其他物品。经过冬季狩猎之后，西部的部落长途跋涉来到贸易站出售毛皮。白人商人和他们与印第安妇女生育的混血儿带着满载商品的车队从贸易站出发，前往出产毛皮的地方。在各个贸易站附近的捕猎者和他们家人住的小屋，成为第一批白人居民点。

从1812年到1846年期间，毛皮贸易是远西地区的主要资源。辽阔的地区似乎注定了要继续成为印第安人和商人出没的荒野。国会决定利用这个地区作为印第安人久居政策的基地。

印第安人 自从白人开始在美洲定居以来，在农民开拓者的小屋向前推进的局面下，印第安人作出了让步。国家要求印第安人撤离他们原来的边界线。白人农民和土地投机商人要求得到印第安人的土地。白人社会害怕自己的邻居是印第安人部族。

国会根据1830年的“迁移法案”，向在密西西比河以东各定居州里生活的部族提出购买他们的土地，并在西部向他们提供新的土地。大平原上的印第安人被迫同意接纳从东部搬迁来的部族。设立了一个印第安办事处来处理他们的需求。派遣了军队保卫新开拓地。

政府将各个部族当做主权国家那样地与他们签订了条约。条约把土地永远地，“就像草总会生长、河水总会流动那么长久地”给了印第安人。这些诺言并未得到遵守。一旦有关美洲大荒漠的说法被证实在很大程度上是个神话，白人旅行者、商人、以及定居者就开始沿着横越大陆的小道向西部前进。政府并不要求他们避开受监护的印第安人的领地。随之而来的是两个种族之间的摩擦和战事。

俄勒冈州提出要求 俄勒冈位于西北部，毛皮是它的

财富,它也是同中国进行贸易的船埠。它的西南方是西班牙的加利福尼亚。那个地方西班牙传教团星罗棋布。它的周围还有一些印第安人、退伍兵士和商人的小的聚居地。

英国和美国都对俄勒冈有土地要求。在英美两国所有的人同意如何将它分开以前,它们共同占领俄勒冈。美国在19世纪30年代早期开始对它发生兴趣,当时捕猎者们开始成批派人到密苏里河和普拉特河上游,并进入哥伦比亚河谷。传教团开始向印第安人派出传教士。著名的M.惠特曼带着他的新娘来到传教团在韦拉特普的农场。后来他带着热情洋溢的报告回到东部。1842年,华盛顿特区派出了一位印第安人代理。

西进小道 1843年春季在密苏里河弯曲附近,印第安人领土的东部边界处,聚集了上千个想找地方安家的人。他们下定决心不怕危险的长途跋涉,横越大陆到俄勒冈去经营农场。1846年英美两国在北纬49度的地方将俄勒冈划分成两块。横越大陆的小道现在具有新的重要意义。对于印第安人来说这些小道是真正的灾难。小道把数以千计的白人带进印第安人的乡土。对于中西部的农民说来,这些小道是美国历史上最伟大的长距离移民的路线。

俄勒冈小道是诸多通道之中主要的又是最著名的小道。大历史学家F.帕克曼曾经在小道新开辟的时候到过那里。他在至今仍在读者中流行的《俄勒冈小道》这本书里描绘了这条小道。小道的起点是密苏里河在堪萨斯河河口突然向东延伸的地方。

每年5月里,当草原上的草变得柔软,道路已经干到可以经得起重压的时候,横越大陆的移民就在密苏里河边聚集起来。他们在密苏里州独立城的商店里购置齐行装。

俄勒冈小道 到了1846年,早已经踩结实了的主道从密苏里州的独立城和韦斯特波特兰丁(今堪萨斯城)起头。它通向普拉特河岸的卡尼堡。建立堡垒是为了保护旅行人并且为他们供应装备。俄勒冈小道的主道沿普拉特河南岸通往南北普拉特河分叉口。主道沿北普拉特河的南岸前进,通过米切尔渡口到达位于拉勒米河口的拉勒米堡。一批摩门教徒移民于1847年溯普拉特河而上。他们走的是北岸,后来就把这条小道称为摩门小道。

两条小道沿着北普拉特河的支流斯威特沃特河合而为一。在斯威特沃特河的源头,车队从南隘口翻过美洲大陆的分水岭(毛皮商人于1824年首先到达南隘口)。在南隘口的西面,俄勒冈小道沿斯内克河西行,经过霍尔堡的博伊西堡,这两个地方已在今日爱达荷州境内。小道从沃拉沃拉堡开始沿哥伦比亚河南岸进入温哥华堡附近地区。多数移民到这里以后就在威拉米特流域定居,不再沿这条小道前进。但是也有部分人沿哥伦比亚河到达太平洋海岸。

小道的两侧尽是那些中途死亡的人就地掩埋的坟,以及一些因为筋疲力尽的牛马不堪重负而被抛弃的货物。路边还有被遗弃的破烂的四轮运货车和被草原小狼啃干净了的牛马的骨骼。夜间这些小狼在营火圈外嚎叫,等旅行者离开之后把营地上剩下的食物一扫而光。走俄勒冈小道进入俄勒冈州的人成千上万。1848年国会建立了俄勒冈准州,其中部分后来成为俄勒冈州和华盛顿州。

与此同时,许多渴望安家的人向加利福尼亚行进。这些定居者沿俄勒冈小道一直走到苏打斯普林斯(今爱达荷州境内)。他们从那里折向西南走到洪堡河、卡森凹地,然后穿过内华达山脉进入加利福尼亚。美国从此开始了对太平洋大陆架的占领。

圣菲小道 在密苏里河弯曲的西南,圣菲小道穿过大草原通往新墨西哥。派克早在1807年就看好新墨西哥是个市场。1821年墨西哥从西班牙获得独立,这条路从此被经常使用。运货车开始穿过堪萨斯草原来到阿肯色河的大弯曲处。主道沿河上溯到科罗拉多境内的珀加图瓦尔河河口的拉洪塔附近。然后继续往上沿珀加图瓦尔河,穿过拉顿山口,下坡后到达圣菲。

还有一条近路,是一条干燥然而危险的路。在西经100度墨西哥边界附近渡过阿肯色河,穿过锡马龙河地区,从东面来到圣菲。圣菲小道——以及它通向加利福尼亚的延长线西班牙小道,不是一条移民路线。它主要是商人走的路线。他们的大篷车满载货物在草原上疾驶,奔向格兰德河的市场。有的时候他们穿过埃尔帕索下游的奇瓦瓦荒漠,一直向南深入到墨西哥城一带。

同墨西哥交战 也许即便没有发生同墨西哥的战争,美国向加利福尼亚的殖民行动也会在几年之内导致这个地区美国化。而战争的结果是加速了美国化的进程。1846年美国已经为侵略墨西哥作好准备,在边境聚集了军队。军队在1827年为保护圣菲贸易而兴建的莱文沃思堡进行动员,然后向新墨西哥进军。侵略军由S.W.卡尼将军统率。

卡尼由C.K.卡森引导,从新墨西哥挺进到上加利福尼亚,这是当时对圣迭戈以北的加利福尼亚的称呼。当卡尼到达洛杉矶的时候,他发现加利福尼亚已经大部分被美国海军和长住在那里的美国公民占领。后者的领袖是富有魅力的探险家J.C.弗里蒙特。

"指路人" 弗里蒙特是隶属军队的青年工程师。在墨西哥战争之前,他早以"指路人"、"找路人"闻名。1842年他被派往南隘口考察。1843年、1844年他再次受命去远西地区,这次是去哥伦比亚地区,回来的时候他走的是加利福尼亚这条路和南方的一条小道。1845年弗里蒙特又到了西部,1846年"熊旗叛乱"暴发的时候,他正在西班牙移民区的边缘。他站出来成为在征服加利福尼亚战斗中与陆军和海军协同行动的美国移民的首领。

随着西进小道的开通,印第安人的生存地区遭到了厄运。1849年涌向加利福尼亚的淘金热打破了移民的一切记录。矿区的新市镇开始要求成立政府和得到保护。1850年的妥协方案规定加利福尼亚成为一个州。犹他和新墨西哥建立准州。4年以后,随着密苏里和解契约的废除,堪萨斯和内布拉斯加也从印第安人居住地中划出来成为准州。印第安人居住地只剩下像俄克拉何马州那样大小的一块地方。

旅行和邮政 1858年开始建立由密苏里到加利福尼亚的著名的横越大陆的邮政业务。旅客乘坐康科德马车要走三个多星期。他们夜间的住处很挤,睡眠的时间很短。换马的驿站上食物供应也很差。1860年办起了小马快递邮政业务,在密苏里州圣约瑟夫城与加利福尼亚州的萨克拉门托之间运行。骑着疾行小马的邮递员把信件装在特制

的鞍囊里。

1869年，联合太平洋铁路和中央太平洋铁路在犹他州接轨，改善了东西部的交通。四轮运货马车或牛车小道的重要性很快就开始减弱了。20年以后，灌溉渠使得干旱的土地繁盛起来。更多的铁路穿过过去荒无人烟的荒漠。印第安人几乎成为被遗忘了的人。高草原已经进入它的最后阶段"牛仔之乡"。

牛仔和赶牛小道 数量庞大的牛群在得克萨斯繁殖，然后向北驱赶进入大草原。最著名的赶牛小道有：古德奈特-拉温、韦斯滕、奇瑟姆、肖尼。肖尼路线在加拿大人河与阿肯色河汇合的地方附近分成向西和向东两条路线。阿比林是得克萨斯长角牛的主要市场，牛被运到堪萨斯城和芝加哥牲畜屠宰加工厂。

在南北战争以后，牛仔成为最后的有魅力的美国新开拓地的形象。布法罗·比尔从他们日益减少的行列里征募了一小支队伍，组成他的世界闻名的节目——野蛮的西部地区展览会。牛仔们给民族留下了一份音乐遗产。他们在营火周围唱的民歌，成为美国民俗学的一个组成部分。

亡命之徒和执法吏 如果说新开拓地为开拓者提供了机遇，那么它也为不法之徒，为那些罪犯提供了逃避文明制约，爱怎样生活就怎样生活的机遇。小说和电影里宣扬的新开拓地的这个方面远比其他方面为多。也正是这个方面使美国的新开拓地获得了"野蛮的西部"的称号。许多罪犯，诸如乔奎因·穆里塔、萨姆·巴斯、贝尔·斯塔尔、比利小子、詹姆斯兄弟、扬格兄弟、布契·卡西迪和森丹斯小子等已经成了传奇式人物。

这伙人的罪行多数是定居社会普遍存在的，也有许多是西部特有的。其中有盗马贼、盗牛贼，以及火车和公共马车强盗。开拓者们认为这几种罪犯之中以盗马贼最为可恶，他们所受的惩罚也最重。马是主要的交通工具，也是放牧牛群必不可少的。

只要西部开放性的牧区存在一天，偷牛就盛行一天。很难抓到偷牛贼，至少早年很难，因为牛的主人没有给牛群打上烙印。在通行打烙印以后，偷牛贼又想方设法改变烙印。因为执法者对这种犯罪的惩罚很轻，牧场主往往只得自己动手，任意处罚。

牛群大多在开放性牧区放牧，那是联邦的土地。后来牧羊业者也来这里放牧，对水和草的争夺，导致牧牛业者和牧羊业者之间展开了极其残酷的牧场战争。在使用有倒刺的铁丝将开放性牧区围起来以后，得克萨斯出现了新的争夺牧场的冲突。1883年的栅栏切割机之战以及其他一些小一点暴乱前后延续了10年左右，破坏了牧场的发展，直到最后公地事实上不复存在。

牧牛业者之间也有战争。说得最多的是1892年到1893年怀俄明州的"约翰逊县战争"。冲突发生在大牧场主与小牧场主之间，前者要霸占他们所能获得的一切开放性牧场，后者则根据宅地法案宣称有权拥有小片土地。最后按宅地法案占有家园的开拓者战胜了；养牛大王的日子几乎成为历史。

执法人员也有成了名的：例如捕获了比尔小子的新墨西哥州林肯县的帕特·加勒特；堪萨斯州阿比林的怀尔德·比尔·希科克；堪萨斯州道奇城的巴特·马斯特森；以及怀亚特·厄普。厄普先是在威奇托开始他的执法生涯、后来调到道奇城任市副执法官。但是他成为传奇人物是他任亚利桑那州汤姆斯通副行政司法长官的时候。他与同事副行政司法长官摩根·厄普和约翰·H.霍利德"先生"一道，与亡命匪帮在俄克拉何马州科拉尔地方交火，这是西部发生过的全部枪战中最广泛传播的一场枪战。

新开拓地的执法通常是快速而即时的。许多新开拓地法官都极其愿意施行最严厉的惩罚。人们称他们是"绞刑法官"，其中最著名的是阿肯色州史密斯堡的联邦法官艾萨克·C.帕克。他1875年就任这个职务，21年里审判了几千名罪犯。1896年他死的时候，新开拓地已经成为历史。

新开拓地的意义 1893年7月12日，当时最出名的美国历史学家F.J.特纳，在芝加哥哥伦比亚世界博览会美国历史学会会议上宣读了一篇论文，题目是《新开拓地在美国历史里的重要意义》。他的解释通常称为"特纳论点"、它为从那个时候起一直到现在的历史学家们确定新开拓地经验对美国的形成提供了丰富的材料。

特纳在他的论文的引言里指出：人口普查主管人1890年说："到1880年为止(包括这一年在内)，我国有整块的供殖民的新开拓地，但是目前未殖民地区已经被一块块孤立的移民点分割得支离破碎，很难划出一条新开拓地的界线。"这一个非正式的声明其实是一份划时代的宣言。美国历史上第一次不再有新开拓地。从一开始起的这个民族生活中的一个基本特征已经结束。(更确切地说还有阿拉斯加，但是那块领土遥远而偏僻，不能吸引大批移民。)

现在是评价新开拓地为国家做了什么贡献的时候了。首先，正如特纳指出的那样，"新开拓地促进了美国人形成复合民族……移民们在新开拓地的熔炉里美国化了，获得自由了，融合成为一个混合的民族"。

第二，新开拓地促进了美国各个部分的互相依存。它开创了农业的多样化，并且要求更老的地区供应工业产品。西部的开放也推动联邦政府启动大规模国内改进措施的计划，建造将各个地区连接在一起的道路、运河和铁路。这又造成了地区与地区间、市镇和乡村间的相互依存关系。但是大量国内改进措施是在北方实行的，在南方的比较少。

第三，新开拓地从另一方面推动了国家意识。各个地区的人们并不把自己看做是某个州的公民，他们认为自己是美国的公民。特纳说："随着新开拓地各州加入联邦，全民族的力量加大了……新开拓地的经济和社会特征是与沿海地区的地方主义对立的。"

最后，"新开拓地最重要的作用是促进美国和欧洲的民主……新开拓地的个人主义从一开头就促进了民主……A.杰克逊和W.H.哈里森时期的西部优势出现了作为国家有效的力量的民主的高涨。这意味着新开拓地——连同它的全部善的与恶的成分——的胜利。

如果说新开拓地对美国的民族性的形成起了非常重要的作用，那么它对美国人的性格也产生了无比巨大的影响。特纳在他发言结束的时候指出："那种粗鲁和力量与敏锐和好奇的结合，那种讲求实际的创造性的性格，找出应急办法

的敏捷，那种对重要的情况的巧妙的掌握，虽然缺乏艺术但却是强有力地去实现大的目标，那种永不静止的精神力量，那种不论起的作用是好是坏的占优势的个人主义，以及那种随自由而来的轻松欢快和兴致勃勃——这些就是新开拓地的性格，或者说因为新开拓地的缘故在其他方面唤起的性格。"

其他的陆上新开拓地

因为地理和历史的情况不同，没有两个国家在解决它们的土地问题方面具有共同的经历。加拿大、澳大利亚、南非都是欧洲人在那里殖民，在那里决定土地问题，但是除加拿大之外，开拓者所到的地区完全不同于美国。至于俄国，那儿不存在谁先发现的问题。作为一个欧洲国家的俄罗斯，它知道在乌拉尔山背后是庞大的西伯利亚，那是等待着开发和并吞的地方。

加拿大

虽然和美国同在一个大陆上，地形特征也大都相似，但是加拿大作为一个国家的发展和它的新开拓地的经历却与美国有显著的差别。美国在1776年就成为独立国家，而今日的加拿大在1841年以前是英国的几个殖民地的集合体，各个殖民地有各自的总督。一直到1841年才成立了加拿大殖民地联合省。

当时它的范围主要是今日的魁北克省和安大略省，但是规模要小一些。1867年，根据"不列颠北美法案"，新斯科舍省和新不伦瑞克省与另外那两个省联合。那个时候占今日加拿大最大部分的西北地区属于哈得孙海湾公司。这片土地主要是进行毛皮贸易的荒原。1870年加拿大出资购买下这个地区，新建了马尼托巴省。

和美国的远西地区比内地先开发先移民一样，1871年温哥华岛和不列颠哥伦比亚省加入加拿大邦联。和加利福尼亚一样，加拿大也有淘金热。1897年在育空地区发现金矿，使得成千上万的欧洲人和美国人涌入遥远的北方。许多人在来的路上穿过大草原，于是在1905年"发现了"后来成为艾伯塔省和萨斯喀彻温省的大草原地区，并且很快向移民开放。抢占大草原土地的热潮也促使加拿大扩大马尼托巴省。

因此，加拿大的新开拓地移民完全不同于美国人横越阿巴拉契亚山脉进入中西部及其西部那样地一直稳步增长。这是一个缓慢的，断断续续的过程。人们到西部寻找新的机遇以前，老的移民区早已兴旺发达了。

加拿大自身可以被吸引去移民的人口也少得多，来自欧洲的移民从来没有达到大量涌入美国的移民人数那样的规模。加拿大人也没有与他们南方的邻居相同的干劲，受"命定扩张论"的热情驱使横穿大陆。加拿大的公众意见是美国以北的全部土地不可避免地将结合成为一个单一的自治的国家。

澳大利亚

澳大利亚殖民地化始于1788年，晚于美国革命5年。因为这个大陆极其偏僻，不容易去，所以它与美国不同，是个对移民吸引力比较小的地方。和美国一样，定居点由东海岸开始，那是澳大利亚最适宜人们居住的地区。但是那里从来没有出现过人的大规模的西进潮。第一批定居者发现很难横越崎岖的山脉大分水岭。就算是越过了大分水岭，他们不得不与严酷的干旱、突如其来的洪水以及灌丛火灾等恶劣的环境和气候进行看起来是没有尽头的战斗。内地大部分是无法居住的荒漠。多数居民至今仍然留在沿海地区，特别是从布里斯班到阿德莱德这一带。

其结果是大部分内陆地区成为永久性的新开拓地，小农场主、大牧羊业主和采矿人的居住地。他们与多数开拓者的悲惨境遇显著不同，他们把城市里的豪华与舒适的生活带到牧羊站来了。

许多偏僻的人口稀少的内地乡镇，是一些类似一个世纪以前美国西部老的牧区或者矿区小镇那样的肮脏的小的移民点。只要大量居民还是宁愿过更舒适和繁荣的城市生活，那里或许会保持现状不变。

南非

1652年J. V. 里比克在非洲最南端好望角为荷兰东印度公司建立了一小块殖民地，作为驶往印度的船只的补给站。在随后的几百年里，这块殖民地扩展到成为一个国家——南非。和澳大利亚、加拿大和美国一样，这块殖民地也是欧洲来的白人移民建立的。但是因为大部分移民是荷兰新教徒，它的居民比北美洲的移民单纯得多。

好望角殖民地扩张的整个历史充满了远远超过澳大利亚或者北美洲的殖民运动曾经发生的冲突、暴力和内部纠纷。被称为布尔人的荷兰人的非洲后裔，与人口众多的非洲土著部族争夺饲养牛的牧场。他们首先碰上的是科伊桑人，后者对他们的扩张在一个时期内进行过坚决的抵抗；但是经过一个世纪，科伊桑人被白人殖民者的文化同化了。在18世纪末他们实际上已经不再是一个可以辨认的种族。

但是科萨族却是大约100年的时间内对扩张的远为严重的障碍。从18世纪末年到19世纪末年，在殖民者和科萨族之间进行了连年的战争，一直到科萨族被彻底打败为止。

1806年英国为了保护通往印度的航道，接管了好望角殖民地。他们对这个殖民地的占领一直延续到1899年至1902年的布尔战争以后。当时英国人的存在固然经常有助于对部族土著的战争，却一直是对荷兰人的刺激。两者的纠纷导致19世纪30年代荷兰人渡过法尔河向北迁移的大行动，这种乘牛拉的大篷车的移民被称为"大迁移"。1877年英国人又占领了这个殖民地，但是在一场短期战争之后，荷兰人重新控制了这一地区。

1868年发现了金刚石，1886年发现了金矿，使得成千上万的淘金者涌向南部非洲，对荷兰殖民地的均势构成威胁。19世纪末，许多荷兰人团结在德兰士瓦泛南非荷兰人后裔民族主义运动领袖P. 克鲁格周围，企图推翻不列颠的统治。结果爆发了布尔战争，一场争夺拥有世界最大金矿地区霸权的斗争。1906年和1907年不列颠允许荷兰殖民地自治，1910年它并入南非联邦。

扩张南非新开拓地的人是那些不管移居到什么地方都

是极不愿意受约束的极端个人主义的欧洲人。离开荷兰那么遥远，那么长时间地受外国统治，他们只得重新靠自己的资源生活，自己管理自己。和当时美国的情况一样，新开拓地的经验形成了民族主义和民族性格。但是这个民族主义有一个缺陷：它不平等地对待广大的黑人居民，播下了未来的大的政治斗争的种子。

俄罗斯和苏联

西伯利亚在16世纪后期归并于俄罗斯，17世纪时军官、官僚、僧侣和商人去那里考察。这片庞大的领土迅速地成为俄罗斯与欧洲进行毛皮贸易的原料供应地。18世纪俄罗斯科学院进行了科学的系统考察。1905年建成的横贯西伯利亚的大铁路，是西伯利亚现代经济萌芽的标志。

西伯利亚并入苏联以后，加快了工业化的速度。煤矿开采扩大了，在西南部建立了钢铁工业。在斯大林统治下强迫劳改营的设立有助于采矿业的发展，而突然爆发的第二次世界大战成为发展工业的动力。

战后在西部开发了天然气和油田，在若干地区建起了巨大的水力发电工程。为供应苏联西部地区而兴建了油气输送管道，在20世纪80年代还修建了通往欧洲西部的输油气管道。

尽管发展了工业，但是西伯利亚实在太大，它将在许多年内继续成为俄罗斯人的新开拓地。人口增长缓慢。整个地区基本上是乡村，许多地方还没有开发。如果要使西伯利亚的北部工业化，俄罗斯必须或者通过教育培养本地的劳动力，从外部提供给他们一切必需品，或者听任本地人继续他们的传统生活，从外部输入劳动力。

新开拓地的消亡

大约从公元前1万年起，直到19世纪末年，世界经济的基础是农业。每一个新开拓地的开辟，无论北美、澳大利亚、南非或者俄罗斯，都是为生产力寻找新的土地。开始于18世纪、在20世纪里成熟的工业革命，永远改变了这种状态。随着工业的发展，移民从寻找土地转变为寻找在城市工作的机会。当然，还是有许多荒野的地区，例如阿拉斯加、巴西、印度尼西亚、新几内亚等地的部分地区，以及若干非洲国家，有待考察，资源有待开发。但是，这样的考察将使用现代的技术，考察的人将是那些受过训练，学会了使用现代技术的人，而不是寻找新生活的从乡下来的开拓者。文明将迅速降临荒野，有用的地方都将得到改造。没有用的地方仍将是荒野。

海洋新开拓地

1870年科学幻想小说家J.凡尔纳的《海底两万里》迷住了大量的读者。这是一篇讲述潜水艇“鹦鹉螺号”在很有些令人生畏的船长尼摩指挥下进行海洋考察的故事。这本小说的流行在很大的程度上是因为人类世代相传的对神秘的海洋的迷恋。书里描述的是水下的荒漠，很吸引人，但是对它的考察是非常艰难的。另外一个故事是关于已经消失了的阿特兰蒂斯(Atlantis)殖民地的传说，它曾经使许多人着迷，因为它诉说的是人类在深深的海底克服种种困难安置移民的事情。

到了20世纪，发明了考察海洋，开采海洋里蕴藏的财富的各种装置，上面说的种种困难逐渐被人克服。海洋考察成就包括10 910米载人深水考察；潜水环行世界；冰下通过北极和北极冰帽；发现大西洋、太平洋、印度洋洋底长达64 000千米的巨大海底山系；以及对主要的洋流系统的科学观察。

现在还不具备建立永久性的住人的海底殖民地的技术。最接近目标的成就是达到凡尔纳的目的：一艘可以事实上不受时间限制地在水底作业的船只。1954年美国的海军下水世界上第一艘核动力潜艇，它和凡尔纳的那艘船一样，被命名为“鹦鹉螺号”。它有一个氧气机提供呼吸用的新鲜空气。

为军事、科学和经济目的从事海底考察的既有政府，也有私人企业。经济因素近几十年来变得日益重要，石油和天然气公司发展了他们自己的海洋学研究船队和专门化手段。在海底开采其他矿物——镍、钴、镁、锌、银、金和其他金属——也形成了重要的企业。

用来考察、采矿和建设水下工程的船舶有水下船只、系泊平台、浮动工具平台、潜水船艇和半潜水船艇等类型。水上船只和平台的优点是它的体积大，稳定性能高。由美国国家科学基金会主持的“深海钻探计划”，使用“格洛玛·挑战者”号在过去无法达到的深海取得样品，研究地球的起源和历史。固定的钻探船可以在深度超过6 000米的洋底进行钻探。1979年国际“大洋钻探计划”用“地球深层取样联合海洋机构”(JOIDES)的“决心”号接替这项研究工作。这一条船上有六层楼的实验室区，它的钻塔高60米。水下钻探深度为8 200米。

海洋已经被公认为全体人类都可以利用的公共新开拓地。这意味着向海洋倾倒有毒垃圾和核废料，从此将要按照规章办事；科学考察将是国际间共同努力的事业；海洋采矿将要受到控制，不能让当代技术上占优势的国家任意开采。

空间新开拓地

没有任何潜在的新开拓地像空间这样激发人类的想像，像空间这样对人类的聪明才智提出挑战。直到1957年，多数人还认为遨游太空属于科学幻想小说的范围。但是1957年10月4日苏联“人造地球卫星”1号的发射，终于揭开了“空间世纪”的序幕。12年以后，1969年7月20日，两位美国宇航员登上了月球，实现了科学幻想小说家的一个久远的梦想。1983年7月13日，飞行速度为每小时49 177千米的“先驱者—10”号太空探测器(1972年3月2日发射)，成为脱离太阳系的第一个人造物体。它也许会永远在宇宙中徘徊，也许会比地球活得更加长久。人类在太空里发现了显然是无边无际的新开拓地。

美国以及其他国家实施的太空计划分为载人和不载人两种。无人空间飞行器总是领先于一切空间探测，因为这种航天器体积较小，可以运作几个月或者几年，不会造成人的伤害。虽然如此，它们完成的实验是有限的。

载人飞机耗费的资金要大得多，因为飞行器的体积以

及为宇航员提供生活空间所需的装备都比较大。还必需具备高度可靠和安全的返回地面系统。载人飞行器安排实验的范围也比无人飞行器更加广泛，因为在观察之后可以做出判断，可以调整仪器，还可以修理仪器。

在空间世纪短暂的历史里所进行的各种各样的冒险是非常杰出的。许多科学卫星和空间探测器对地球的大气、月球、太阳系和若干行星的特征进行了调查研究。

带来直接经济效益的大量地球同步卫星也已经送入轨道。通讯卫星已经成为全球通讯的重要部分。国际通讯卫星使得成千上万的电话线路和电视频道得以运转。1962年美国创立了通讯卫星公司，它成为国际通讯卫星组织的美国代表和经理，到1992年这个组织已有119个成员国。苏联和其他东欧国家也曾有一个类似的组织，称为"闪电系统"。

其他地球同步卫星对天气预报、地图绘制、资源调查、军事侦察以及导航有重大的贡献。轨道气象卫星对地球进行扫描，并将数据发送给接收站。地球同步气象卫星连续地观测地球上范围广大的地区。资源卫星使用极其复杂的摄影系统，发送有关农业、森林、土地使用、海洋资源，以及陆地和矿产的资源等方面的数据。侦察卫星为军事警报系统提供主要的技术根据。导航卫星帮助核潜艇和水上船艇在任何天气下准确地确定方位。地球卫星对大块地面做出精确的观测，也有助于改进世界地图的绘制。

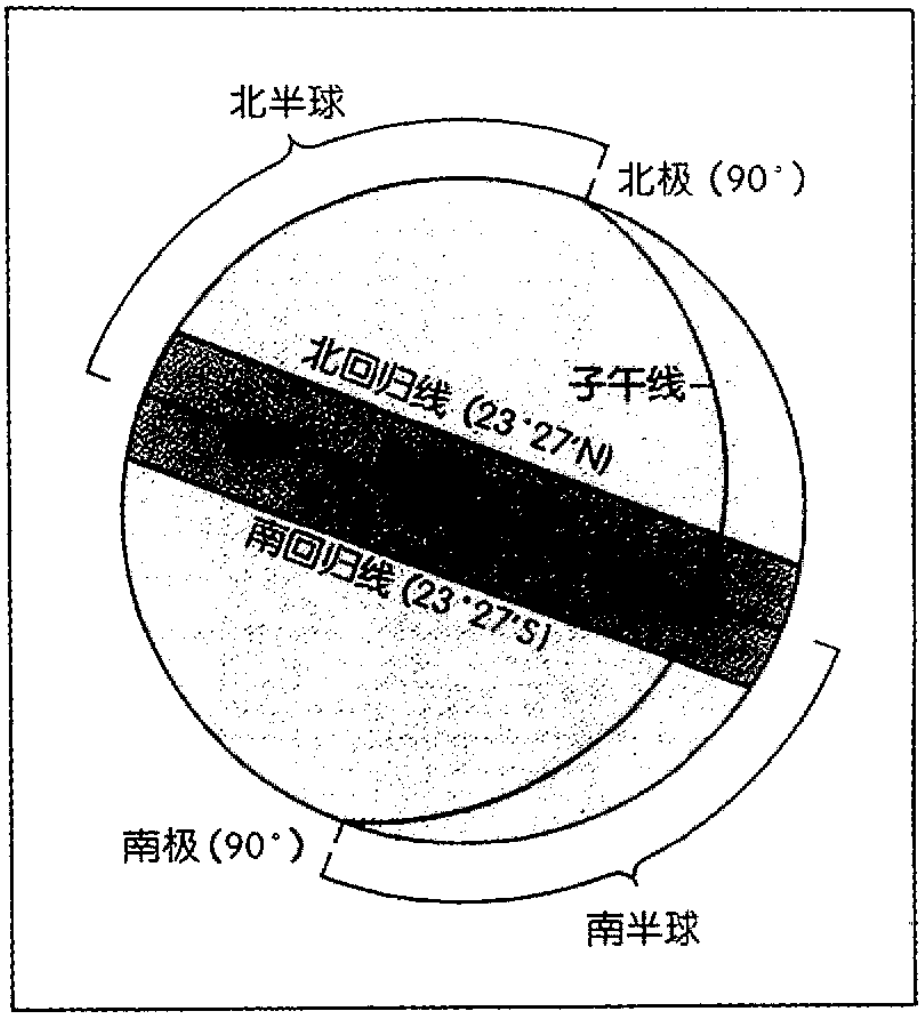
在可预见的将来，载人星际考察的可能性不大，因为需要的经费太多，而那里的环境荒凉，充满危险。但是，在空间进行较长时间的工作和开展实验的可能性是存在的。苏联在这个领域里取得了很大的成绩，1971年发射了世界上第一个空间试验站"礼炮-1"号。宇航员在空间站上开展科学实验。1986年苏联发射了"和平号"空间站。宇航员尤里·罗曼年科在空间站停留了326天。

1980年美国开始使用可重复使用的载人航天飞机。1986年1月"挑战者"号爆炸，这个计划暂时受挫。1988年10月由"发现"号恢复实施计划。所有这些计划的成就说明离出现大型的永久性的空间轨道站的日子不会太远了。

赤道 EQUATOR

这是与南、北极距离相等的、环绕地球东西走向的假想线。赤道圆周线的长度约为40 000千米。赤道将地球分为南、北两个半球。赤道的纬度被定为0°。纬度是假想的称为纬线的东西走向的线的系统，它们是环绕地球的与赤道平行的线。纬线用纬度来测量赤道以南和赤道以北的距离。从赤道往南、往北走，距离越远，纬度越大，到达南极和北极的时候都是90°。

经线就是子午线，是精确地确定地球表面某点的方位所需的另外一个测量尺度。经度是以一条称为本初子午线为起点，用度数表示向东和向西的距离。本初子午线或者说零度经线是南北两极联线通过英国格林尼治天文台原址的经线。以本初子午线为起点，经线向东和向西的度数逐渐增加，直到180°。通常在地图和地球仪上都标明纬线和经线，用来为地球上任何地点定位。（参见：**纬度和经度**）



北回归线和南回归线是两条特别重要的纬线。它们在赤道以北和以南23°27′的地方环绕地球一周。在这两条纬线之间的地区称为热带。北回归线标示热带北边的界限；南回归线是南边的界限。这个地带的气候因为纬度不同和离海远近不同而有很大的差异。有些地方雨水很多，有些地方炎热、干燥、雨水很少。

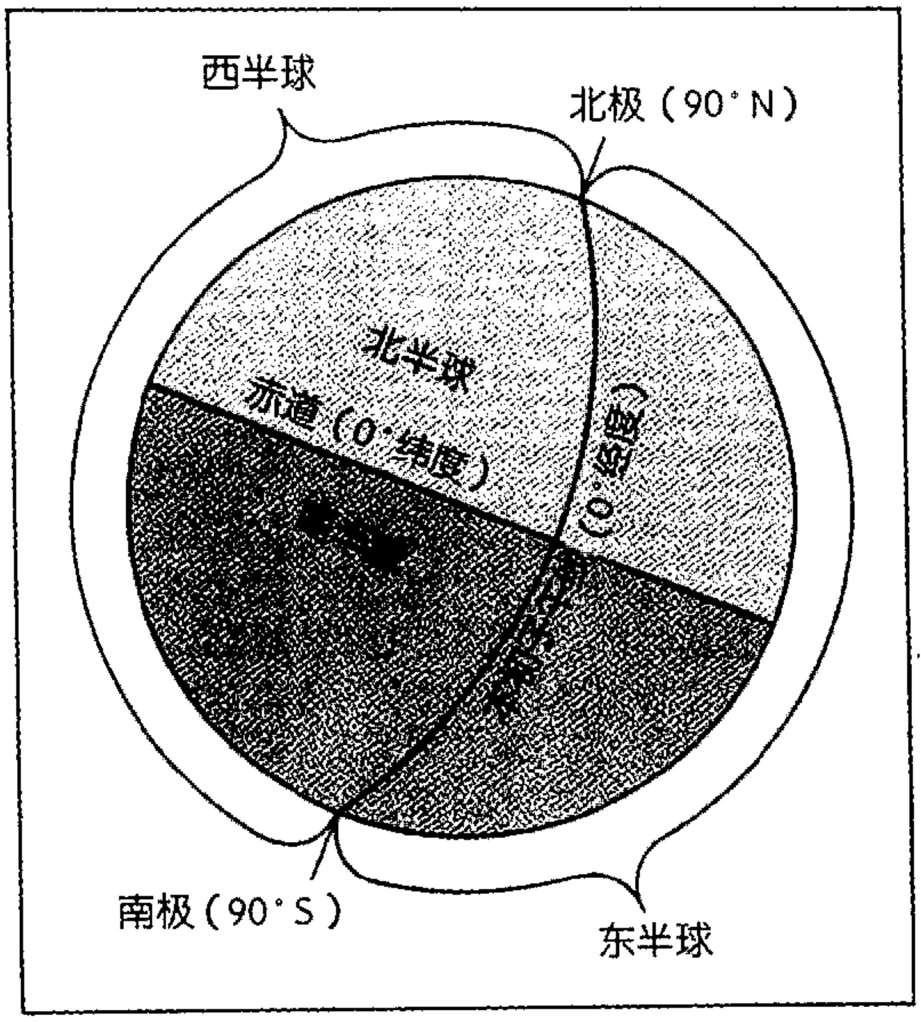
地球上还有一条假想的线称为地磁赤道，或者无倾线。无倾线这个术语来自希腊文，意思是"不向两边的任何一边倾斜"。在地磁赤道上，来自南极和北极的磁引力相等。在这一条东西走向的线上，罗盘的针既不向北，也不向南下倾。地磁赤道与地理赤道并不严格吻合，因为北磁极和南磁极与地理北极和地理南极也不一致。

半球 HEMISPHERE

地球像一个球。（"sphere"来自古希腊语 sphaira，意思是"球"。）假设把一个球切成两半，水平横着切或者垂直竖着切，结果就出现两个半球。这种假设的划分半球的方法有利于确定地球上大的地区的位置和研究地球的运动。（虽然它并不影响我们使用半球这个词，但是还应该指出地球并不是一个正圆的球。它实际上是一个扁球，两极地区略扁，赤道地区略微有些隆起。）

因为地球是一个球体，它的截面和任何圆形一样，可以划分为360°。这些度数可以用来测量距离。因此在地球仪上划出了假想的线，在线上面标明度数。其中一些线称做纬线，垂直于地轴（也就是说与赤道平行），用来测量纬度，或者说测量南北之间的距离。另外一些线称做经线，它们连接南北两极，用来测量经度，或者说测量东西之间的距离。

位于南、北两极正中的纬线是赤道，它的纬度是0°。



赤道将地球划分为南、北两个半球。地球绕太阳运转的轨道以及地轴的倾斜对南、北两个半球的季节变化产生影响。因为地轴是倾斜的，它与太阳之间有一个角度。因此在地球绕太阳运转的轨道上，一年之内有两个称为至点的时候。一个至点，北半球接受阳光的角度最大；另一个至点，北半球接受阳光的角度最小。在6月21日左右的至点，北半球向太阳倾斜——这个时候是北半球的夏季。与此同时，南半球背离太阳倾斜，是当地的冬季。在12月21日左右的北半球背离太阳倾斜，处于冬季。与此同时，南半球向太阳倾斜，是当地的夏季。在3月和9月的两个二分点的时候，两个半球都不向太阳倾斜，当地的昼、夜都一般长，但是季节却仍旧是相反的：北半球是春季的时候，南半球却是秋季。

赤道将地球分为南、北两个半球，但是一般人对此仍有误解。某些北半球的居民认为许多南方的地点属于南半球，事实上这些地方却在赤道以北。例如，南美洲的一部分和非洲的半数以上的地方都在赤道北面，尽管如此，人们还总是认为这些大陆是在南半球。

子午线通常用来测量东西的程度，这些子午线都一样长短而且全都通过南、北极。每一条子午线都把地球分成两半。不存在区分东半球与西半球的清楚的天然界限。东半球或者西半球的意思是说，在一条任意选做基本线的子午线的一边的半球。这一条子午线可以通过许多城市。虽然如此，1884年的国际协定确定通过英格兰的格林尼治的子午线作为基本子午线或者说本初子午线。从此以后，按照协定，它就成了本初子午线。它的经度是0°，一切东和西的距离全都是根据它来测量的。

地球上的标准时区也是按格林尼治子午线测定的。因为地球的旋转每小时约为经度15°，本初子午线的两边每隔15°就划为一个时区。从本初子午线向东旅行，每一个时区都比刚走过的时区增加一个小时。从本初子午线向西走，每一个时区都比刚走过的时区减去一个小时。在地球仪的另一侧，也就是经度180°的地方，是国际日期变更线。（事实上两个时区之间并不一定相隔15°，因为许多国家在它们国家领土范围内自己改变了时区的界限。）

虽然本初子午线是东和西的测量标准，但是并没有总是把它当做东、西半球的分界线。通常是把北美洲和南美洲包括在西半球里的。这反映了一个事实，那就是因为这些大陆是开始于15世纪的欧洲探险家发现的新世界的一部分。既然这些大陆是在欧洲的西面，它们就被当作了西半球的一部分。如果把本初子午线作为界线，欧洲和非洲的一些部分应该属于西半球。

地质学 GEOLOGY

地质学——一门关于地球的科学——它大概是所有自然科学中研究内容最广泛的学科。它涉及行星地球的起源、它的演化历史、形状、物质组成、过去发生的和现在尚在进行的各种过程（见：**地球**）。地质学一般被归入地球科学或地学，它是这类学科中若干相关分科中的一个（见：**地球科学**）。地质学家是地球科学家，他主要研究组成地球外壳的岩石及由岩石产生的物质。为了查明岩石及其产生的物质，地质学家运用其他科学，如物理学、化学和生物学已有的知识。这样，地质学的一些领域，像地球物理学、地球化学、地质年代学和古生物学再与其他某些科学相结合，就会使地质学家能较好地查明各个时期地球各种过程的状况。

尽管每一门地球科学都有自己独特的研究中心课题，但是，所有的地球科学往往都与地质学交叉重叠。例如，在研究地球的水与地质作用的关系时，就要有水文学和海洋学的知识。地球表面各种信息的测量和制图，就需有制图学和大地测量学关于地球精确形状和大小的知识。关于地球起源的探索也是来自地外天体的天文学的研究。

地质学，作为一门大学科，不仅包括地形和地表的其他特点的研究，它也涉及行星地球的结构和内部。这些知识属于基础科学。但是，地质学在为人类服务方面也有位置。例如，应用地质学集中注意力研究地球中有用矿物的寻找，适合各种建筑的地质上稳定点的确定，与地球动力有关的自然灾害，如地震的预报等。

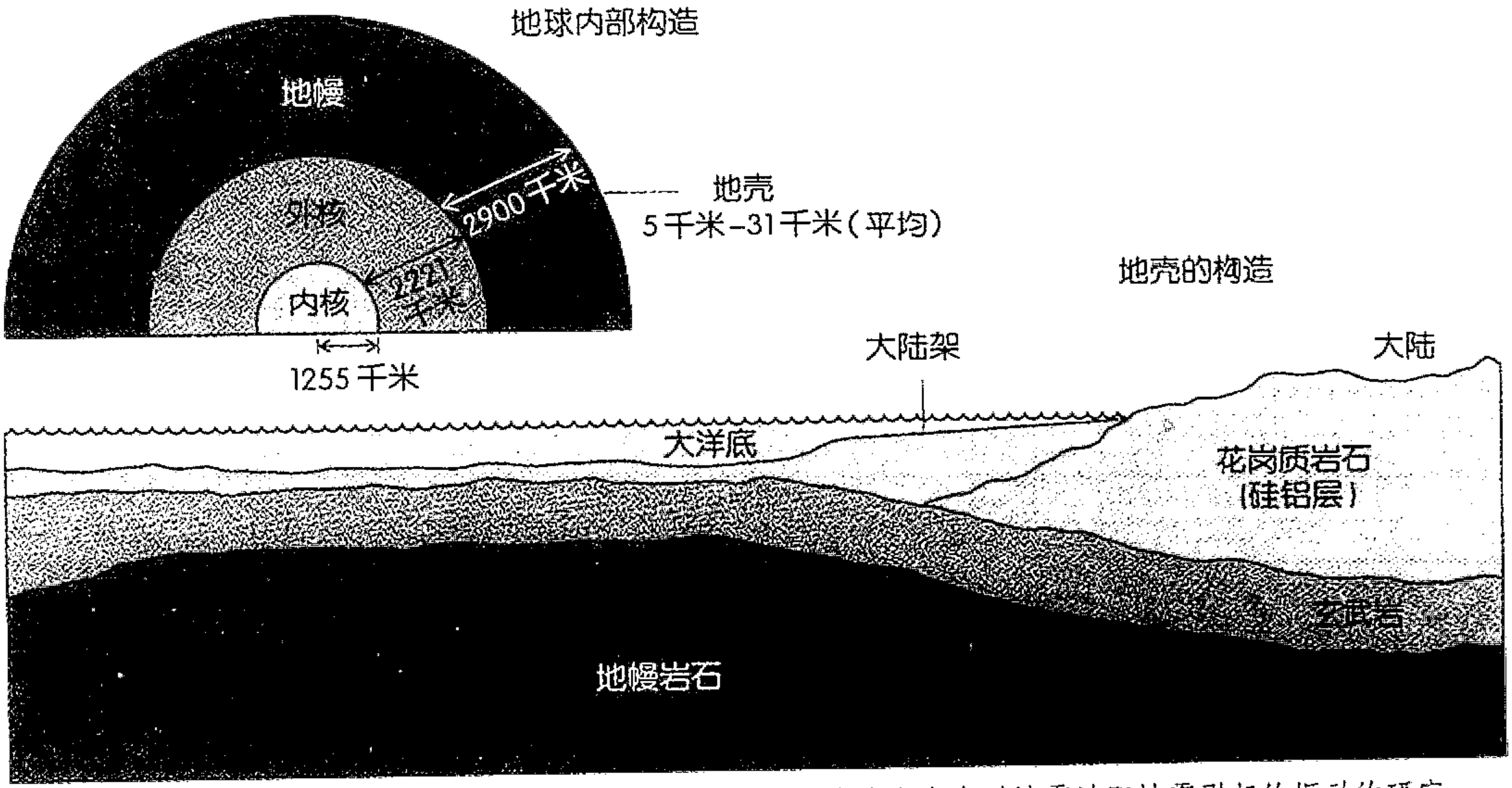
地质学研究领域

地质学研究地球的历史，包括生命史。地质学研究地表和地壳内全部物理过程。因此，广义地说，地质学包括地球上岩石、土壤、水、大气和生物的相互作用的研究。显然，对一门学科来说，囊括全部这些内容，研究领域是太宽了。因此，地质学家一般只把自己限于某一领域的专门研究。下面是地质学科目的简述。

物理地质学 地质学的这个分支研究作用于矿物、岩石、岩浆和地核物质的各种地球过程和力；还研究地球面貌即地形的各种形状的变化原因。

地球物理学 地球物理学的目的是探索地球的各种物

理性质、地球的内部构造和各种物理现象。例如，地球物理学家研究地球的磁场（磁场的来源、分布及其变化），岩石和土壤形成时留下的残存磁性、地球内部的热流、重力，以及与地震有关的地震波的传播。勘探地球物理学家把物理学和地质信息结合起来，去解决寻找石油、天然气和水，勘探新的金属矿，确定土木工程形式等各种实际问题。



没有人见过地球深处的内部构造。关于地球深处构造的大部分信息来自对地震波即地震引起的振动的研究。

地球化学 地球化学研究地球整体的化学，但这个学科进一步分又分成若干领域，像沉积地球化学、有机地球化学和环境地球化学新领域以及其他一些领域。地球化学家十分关注大类岩石和大类矿物的成因和演化。地球化学家专门研究化学元素在矿物、岩石、土壤、生物、水和大气中的分布和含量。各种元素在自然界循环的知识，如碳、氮、磷和硫的地球化学循环的知识有重要的实际意义，这是关于同位素在自然界的分布、含量和它的稳定性的研究。勘探地球化学，也称地球化学勘探是地球化学理论原则在矿产勘查中的实际应用。

岩石学 岩石学研究岩石，特别是火成岩和变质岩的成因、产状、结构和演化历史。与其相关的一个学科是岩类学。岩类学则从事于岩石的描述和鉴定。岩石学家研究岩石的变化，即研究岩浆凝固过程中，岩石物质中发生的变化，固态岩石在半熔化或熔化状态下发生的变化和沉积物进行化学和物理变更时的各种变化。这个领域的研究人员关心矿物如何从高温的熔融状态结晶或凝聚为玻璃态物质；以及矿物未经熔融相在高温下的再结晶；固态岩石和液体中矿物间离子的置换；风化、搬运和沉积等各种过程。精细的制图和采集岩石标本也是岩石学的基本内容。

矿物学 矿物学研究地壳中的矿物，也研究地外发现的矿物，如月球的矿物标本和陨石。结晶学研究天然和人工晶体的外部形状和内部构造。矿物学家研究矿物的形成、产状、化学成分和物理性质、矿物的组成和分类。鉴定矿物学是一门科学和技术，它根据标本的化学和物理特性，确定标本中的矿物。经济矿物学主要集中研究金属矿物的形成特别是有商业意义的矿石的各种地质过程。

地质学中若干常用术语

地壳——地球的最外层，厚约 5 千米－31 千米。

变形——一般指地层形状或形态的改变；通常是应力作用的结果。

沉积——一般指在最上面的岩层之上天然物质的沉淀，如矿石、矿物、煤、石油等的天然堆积。

地壳运动——指产生大陆、洋底、高原和山脉等这些地壳特征的变形过程。

火成岩——由非常热的、熔融物质形成的岩石。

离子——指由于失去或得到一个或一个以上电子而荷正电或荷负电的一个原子或一群原子。

同位素——每一种特定的化学元素的各种同位素，在其核内有不同的中子数，但是所有同位素都有相同数目的质子。

岩石圈——由岩石组成的、厚约 80 千米的地球的固体的外圈。

岩浆——地球内的熔融物质。当它喷发到地表时则称熔岩。

变质岩——在热、压力或化学变化作用下由原来岩石转变成的岩石。

矿物——化学成分可以用化学分子式表述的、无机成因的物质;它的成分或是金属的或是非金属的;多数矿物有晶体构造。
地貌——景观上可以看得出是侵蚀作用、风化作用和冰川作用造成的地球表面的形状和结构。
断裂——一般的地质断层。
沉积岩——由原来岩石的碎屑物或动植物的残体或化学沉淀物的沉积而形成的岩石。
地层学——是一门关于地球上地层的学科。
地层——有明显上界和下界的岩层。
构造学——关于地层褶皱和断裂的学科。
风化作用——在水、冰、冷热、阳光和风的作用下,地球上物质的物理解体和化学分解作用。

构造地质学 起初,构造地质学从事沉积地层变形的分析;现在,构造地质学家研究一般岩层的扭曲。一般,对调查中查明的构造形态或形状,从观察到的特征上加以对比,最后,把它们归入相关的类型。对比构造地质学研究大的外部特征,并动用显微镜研究变形岩石中矿物颗粒,对理论研究和经验研究结果进行对比。石油地质学家和煤田地质学家在日常工作中,尤其是在石油勘探中,运用构造地质学,以发现可以储存石油的构造圈闭层。

沉积学 沉积学也有人称为沉积地质学,这是一门关于沉积物及其成因的学问,其研究内容是古海相和古陆相沉积物、现代海相和现代陆相沉积物、沉积物中的动植物化石、矿物、结构、历史上的演化和空间变化。沉积学家要研究天然层序上疏松沉积物和坚硬沉积岩的大量复杂的特性,以便了解地球的早期环境。在沉积岩的研究中,借用地质学其他分支的资料和方法,如地层学、海洋地质学、地球化学、矿物学和环境地质学等。

古生物学 古生物学是关于史前生命的学科。古生物学将化石中的动物和植物联系现存的植物和动物进行研究。微化石的研究与较大的化石标本的研究所采用的技术不同。化石,即天然保存在地壳中的地质历史时期的生物残体或遗迹,是古生物学的主要依据。古生物学也是对化石形态的系统描述的学科。

地貌学 地貌学,就其词义说,是“地球的外貌和发育”之意,而其目的是探求出地球外圈的作用模式。地貌学家根据冰川作用、水流和河流作用、风沙风尘的搬运及堆积作用和风化作用,来解释地表各种特征的存在和演化。地貌学中的一些主要研究领域,着重研究构造对地形的影响,气候对上述过程和地形的影响以及地形测量和地形资料的分析。

经济地质学 经济地质学有时被归入地质工程,与采矿和土木工程有关。经济地质学的内容包括运用地质学原理研究土壤、岩石材料和地下水,因为它们影响工程的各种建筑物的规划、设计、选点、建筑、运行和保养。

环境地质学 这个比较新的领域的内容包括地质资料的收集和分析并运用这种研究成果去解决人类在环境利用中提出来的问题。环境地质学中有一个领域叫城市地质学。它的研究内容是运用工程地质学解决城市问题,特别是解决大城市地区的问题。环境与城市地质学涉及直接影响人们利用土地的地质状况。环境地质学的范围很广,它还包括物理学、生物学乃至社会科学的一些相关领域。由于环境科学的多学科综合特点,它吸收地质科学的一些学科,如工程地质学、经济地质学、地貌学与沉积学的大量内容。

撰文:Charles W. Finkl. Jr.

板块构造学 PLATE TECTONICS

一种相当新颖的地质学理论,认为所有的地震、火山活动和造山过程都是由于一些称为板块的刚性巨块的运动所引起的,这些板块构成地球的表层或称岩石圈。岩石圈在一个称为软流圈的更重的半熔层上覆盖着并且滑动。软流层又包围着中间层——地球熔融的中心部分。地球的表面由12个大板块及若干小板块组成。(参见:**大陆;地球;地震;火山**。)

在这些岩石圈板块相遇的边界处,可发现三种活动类型。第一种是浅层地震带,这些地震是由沿着长而活跃的洋中脊的张应力而引起的。当熔融岩石或岩浆从软流层中上涌时,这些洋脊被推开。第二种活动是更猛烈的地震,沿着断层或板块在相反方向相互磨挤处的部位发生。在大洋中,这种运动引起的火山现象,可形成岛屿,例如冰岛。第三种活动发生于深海槽中一个板块被消减或推到另一板块下面时。在消减沿着大陆边缘发生处,会形成安第斯山之类的山脉。在其他地方,火山活动可造成岛弧,例如西南太平洋中。如果一些大陆板块被推向一个深海槽,则它们最终将碰撞而生成山脉。

冰期 ICE AGE

如果有人能在2万年以前生活在北美洲的中部,那么,他们能整年见到冰雪。男人们能在纵贯大陆跨越重洋的万里冰墙边上打猎。夏天,妇女们能在融冰水汇成的冷水河上钓鱼。有人如果能冒险登上这冰墙,他就能见到万里无垠的北上的寒冰。

这些人生活在最近一个冰期的控制之下,那时整个加拿大,美国许多地方和西北欧大部分被厚达数百米甚至数千米的冰盖所覆盖。但是,这些人并没有受寒冷的折磨。当时的平均温度比当今美国与加拿大交界地区的温度才不过低10或12度。再说,当时这样的平均温度和冰期本身与其说是酷冬,倒不如说是凉夏造成的。当时,在暖和的几个月中,没有足够的热量把上年冬天积下的冰雪融化完,所以,冰雪便年复一年地堆积起来,直到把北方覆盖起来。

昔日冰盖边缘地区同今日当地相比,最大的区别在于植被和动物。寒冷阻碍了树、草和多数开花植物的生存。土壤盖上了苔藓和地衣。少数快速开花的植物,像现在在北极还能见到的那些植物,在最暖和的几周之内一跃而起。动物主要有驯鹿、麝牛和猛犸,这些动物能用蹄子扒开雪层获得食物;此外,还有一些食肉动物如熊和狼。

现在,有些地质学家认为,这次冰期最终将会消失。格

陵兰岛大部分被冰川覆盖，这里的居民居住在冰川的边缘。南极差不多全被冰川盖住。这些覆盖了辽阔地区的冰川称为冰盖。在阿尔卑斯山和其他高山地区，充满山谷的缓缓运动的冰河称为山谷冰川。

科学家为什么相信有冰期

科学家为什么相信北美有这么大的面积一度为冰所覆盖？回答这个问题的首先是 L. 阿加西斯。阿加西斯 1807 年生于瑞士，他是一位自然科学教师，他对故乡阿尔卑斯山的冰川知道得很多。他观察了冰川是如何磨蚀山谷底部和两侧的，它是如何搬运岩石的，在冰川融化时又是如何弃下砾石堆的。

他还指出，在远离坚硬的花岗岩组成的山脉数百千米的地方，可以找到花岗岩漂砾。最后，他指出，在离阿尔卑斯山脉很远的基岩块上，有条条刻沟和擦痕。这种现象只有当冰川压在岩块之上，并推着岩块走时才能产生。当时冰川很大，它们覆盖了北欧的大部分，于是产生这种现象。

冰期的其他痕迹

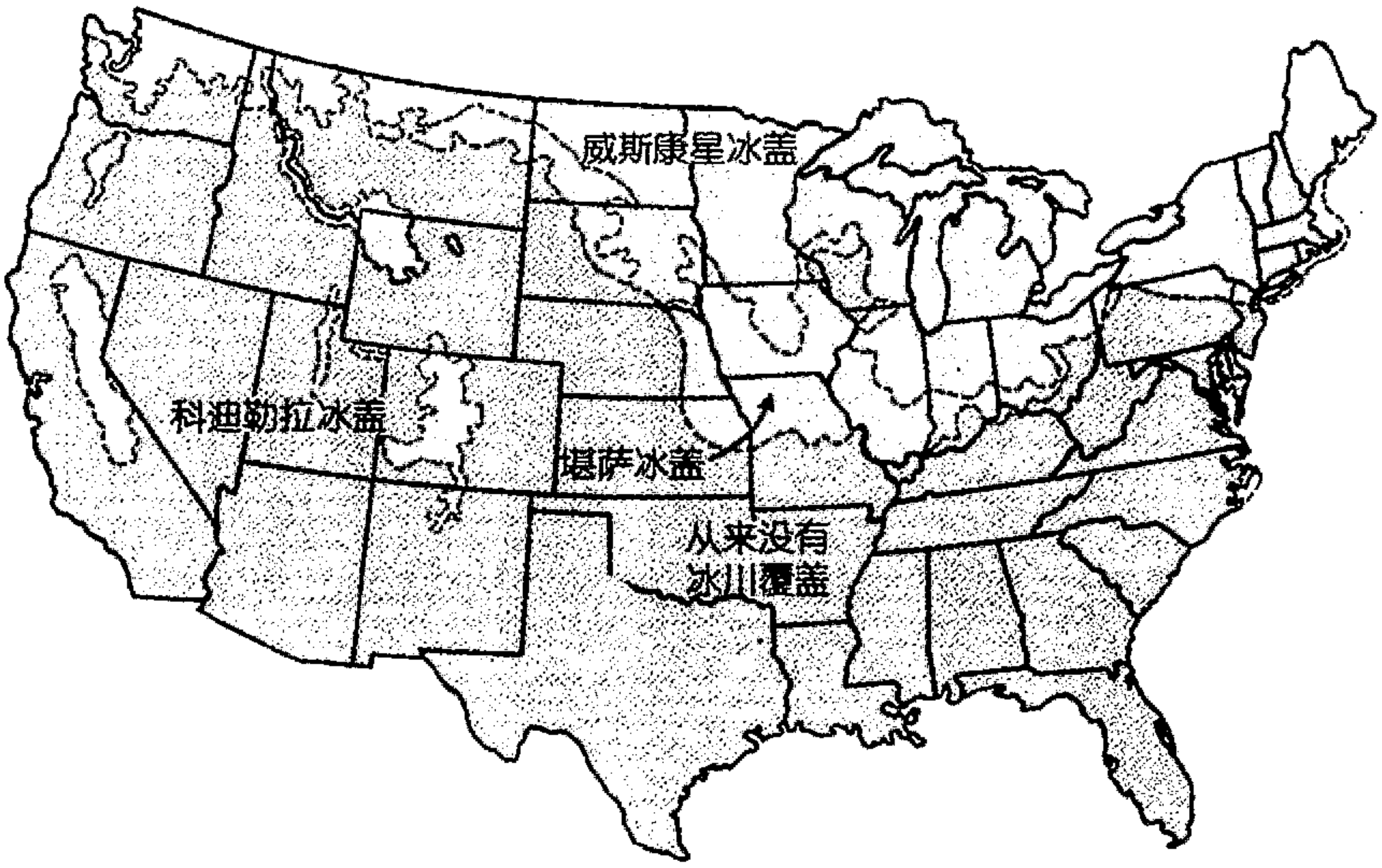
地质学家把现代冰川用来指导古冰期的研究。现代冰川研究表明，在积雪表层，雪转变成砂状颗粒，再下面转变成冰。当这冰层达到厚约 46 米时，它便向边缘伸展。贴着地面滑行的冰体磨损着小山坡，把砾石、砂和黏土带入山谷。这些物质便是冰碛物。冰川边缘融化形成的水流，在流线方向上撒落砂砾，使丘陵歪曲，形成蛇形丘。堆积在冰下的漂积物，在冰川融化时，形成低矮丘陵称鼓丘。

在冰川向下移动中，冰体携带着漂砾和土壤向南滑移，直至气候足够暖和的地方，在每年的夏季把冰全部融化。一旦冰融化，冰体载负的各种碎屑物便撒落下来，顺流线而分布，这便是冰碛。如果温暖的夏季迫使这条流线向北退缩，冰碛物便留下来。现在，这种冰碛物在地貌上呈现出来的是宽阔的、坡度小的丘陵。

不论冰体退缩到什么地方，冰川侧缘流下来的融化水必须找到新的流道，因为，原来的河谷已经填满了冰碛物。当冰川很大一部分退到冰碛物后面时，融化水四溢，形成冰川湖。当这些冰川湖水位上升，湖水便流向低处，往往形成一连串湖泊，中间有小股水流连接。只要看一看美国北部和加拿大南部的地图，就能见到这丰富多彩的水流和湖泊串连的景观。这里湖泊的面积不等，有星罗棋布的小池塘也有大湖。

地质学家对全世界的这类迹象作了研究，他们认定，阿加西斯的简单的“冰期”的确由 4 个不同的时期、4 种不同的情况组成，即冰川的形成和前进，然后，逐渐消融和后退到极地。他们之所以确信，是因为他们找到了每一时期的冰碛物及其他堆积物，而且，这些冰碛物和堆积物一个覆盖在另一个之上，较新的与较老的可以区分出来。

在美国，把这 4 个寒冷时期称为 4 次冰川作用，每一寒冷期，都以冰川来到的州而命名。中间温暖时期称间冰期，是以这时期残存物研究的地点命名的。在欧洲，冰川期是以阿尔卑斯山区一条小河名命名的，在这里研究了冰川期，这里的间冰期与前后冰川期之间，命名时加上一个连字符号。



浅色表示过去是冰盖覆盖区。堪萨冰盖和内布拉斯加冰盖几乎完全叠盖。威斯康星冰盖和伊利诺伊冰盖接近于全区叠盖。西部高纬度地区是科迪勒拉冰盖。威斯康星、明尼苏达、衣阿华和伊利诺伊交界处从来没有完全被冰川覆盖。

	美　　国	欧　　洲
第一次冰川作用	内布拉斯加冰期	贡兹冰期
较温暖时期	阿塔屯间冰期	贡兹-明德尔间冰期
第二次冰川作用	堪萨冰期	明德尔冰期
较温暖时期	雅茅斯间冰期	明德尔-里斯间冰期
第三次冰川作用	伊利诺伊冰期	里斯冰期
较温暖时期	桑加蒙间冰期	里斯-维尔姆间冰期
第四次冰川作用	威斯康星冰期	维尔姆冰期
较温暖时期	现代或冰期后	现代或维尔姆期后

根据基岩块上的刻沟和擦痕的方向确定，北美的冰川总是从3个冰川中心或3个冰盖向外伸展，这3个冰盖是根据其覆盖的地区名命名的，即：拉布拉多、基韦廷和科迪勒拉。这些冰盖在不同地方的厚度，已根据山坡上的8处擦痕测得。

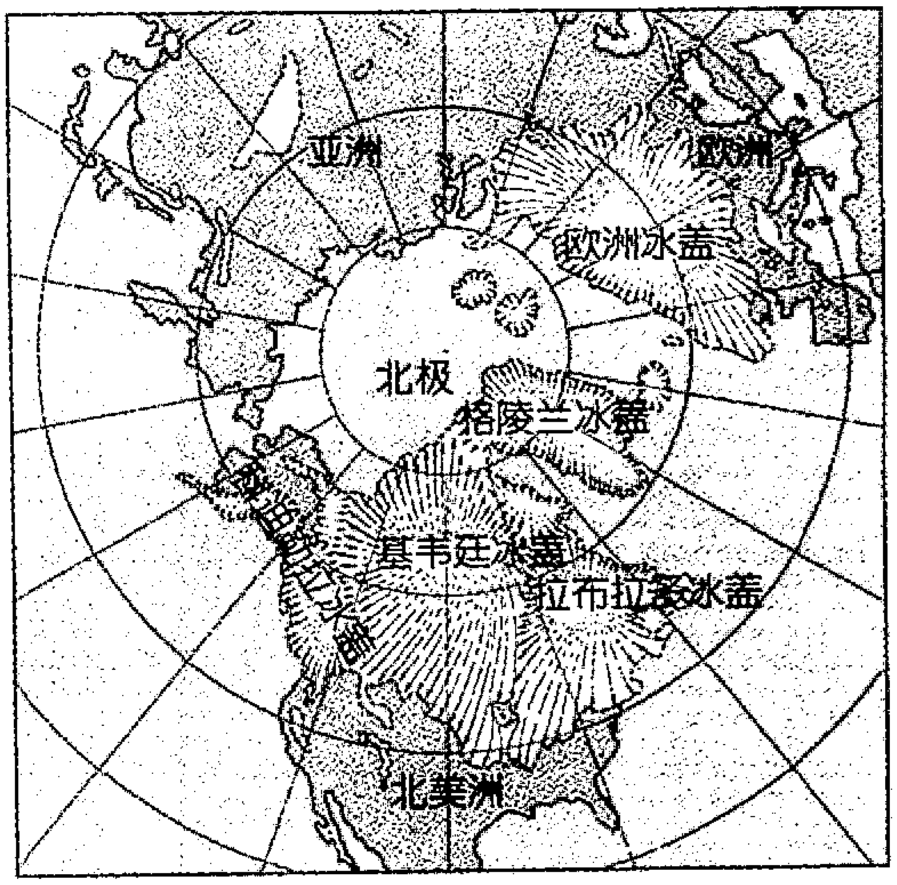
许多种过去生活在北美的动物由于冰川连续侵入而被迫外迁或被毁灭。其中有象类中的巨大的柱牙象，剑齿虎，各种骆驼及美洲驼类和一些马种。

坚忍不拔的研究帮助了地质学家估算了北美洲和欧洲这4个冰盖的覆盖时间。一般说，内布拉斯加冰盖覆盖北美洲大约距今200万年；堪萨冰盖大约距今125万年；伊利诺伊冰盖大约距今50万年；威斯康星冰盖大约距今10万年。称为雅茅斯期的温暖期，在堪萨冰期与伊利诺伊冰期之间，它延续时间比任何温暖期或冰期都长。

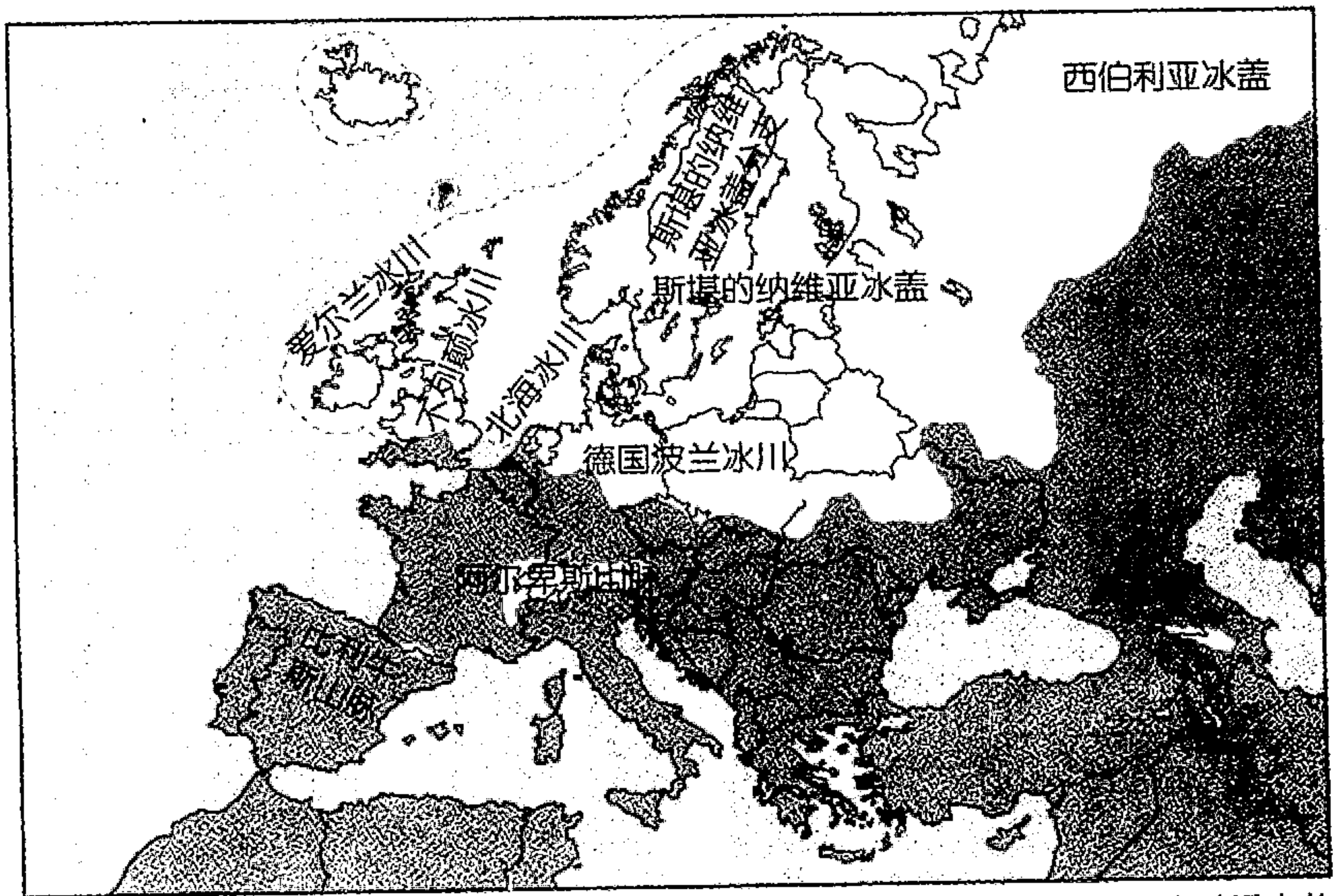
最晚一个冰盖或威斯康星冰盖大概在距今4万年开始在边缘融化。集中在拉布拉多上的冰帽约在距今3.6万年时从尼亚加拉瀑布区后退，并约在距今2.8万年时退出了新英格兰。基韦廷冰帽延续时间较长，而且较厚，直到距今1.5万年还没有离开明尼苏达。欧洲冰川在距今1.7万年从德国中部融化；在距今1.3万年从瑞士融化。

冰期对现代生命有什么影响

冰期留下的大量冰碛物影响土壤的性质和农业的发展。



北极图表示出5个大冰盖。在冰期，冰川由这些冰盖向外推进，后退时，又退回到这些冰盖。



欧洲同北美洲一样，有4次冰川作用时期。连续的冰盖到达的界线用虚线表示。任何时候一直被冰川覆盖的地区用白色表示。

冰盖的巨大的重量产生另一类变化。北美的很大一部分面积曾负载着厚约32千米的冰盖重量。这相当于每1平方米上加压4 000吨或更多。在这样大的负荷作用下，地壳上相当新英格兰面积的一块地面要下沉90米到250米。这些地区至今尚未上升到原来的标高，有许多古山谷沉入海中，形成大大小小的海湾和水湾。智利和挪威是另一类“沉没海岸”，这里有许多由古冰川凿成的谷地。

据估算，冰期有厚冰盖3 000多万平方千米，形成这样

巨大的冰盖，水源当然来自大洋。从全球范围说，这样就使大洋水位下降，比现在的海洋水位低几百英尺。在夏威夷群岛海面、百慕大海面及其他地方，通过水深测量，发现水下有古老的低海岸。在南极和格陵兰目前还有大量的水封存在冰中。如果这些冰融化，释放出水，就能提高大洋水位约 60 米。

科学家测得，人类是随着冰川的前进或后退，向南或向北迁移的。在科罗拉多及其附近地区，在猛犸和现在已经绝灭的冰期其他动物的骨堆中发现有箭头状的遂石。在欧洲的最近的一个寒冷期，人们住在洞穴之中，因为在这些洞穴中，有石制遗物。

较早冰期的证据

根据地质学家的意见，前面提到的包含 4 个冰期的最近一个大冰期，在地球历史中绝非仅此一个。他们认为，在元古代有两次大冰期。一次是发生在加拿大东部；另一次是在中国、南非、挪威和北美。（见：地质学）

在古生代，煤期及沼泽的蓬勃发育，看来是由于经受了一次世界闻名的最强烈的冰期而终止。甚至在印度和非洲的热带地区，也有那次冰盖的证据。当时的南美可能从巴西丛林起并再往南被冰盖覆盖。

冰期原因之谜

我们知道，冰期是当一个地区气候变冷时来临的。夏季的热量不够用来融化冬季的冰雪。今天的科学家和环境科学家提出问题：为什么在地球的历史中会发生这样的事件？

一些科学家解释，这是由于地球绕太阳的运转发生变化而造成的。但是，没有发现任何这种变化使天文学理论和地球上所发生事件的记录符合。另一些科学家推测，空气中尘埃或二氧化碳层，挡住了一部分太阳热能。20 世纪 30 年代初，英国气象学家 G. C. 辛普森提出另一种理论。他假定，由于某些其他星体，太阳的温度在以往的时期可以有很大变化。辛普森的这一理论，还需要实际证实的证据。

黏土层中的日历

瑞典的 B. C. 德吉尔为冰期历史的研究发现了一个实用的方法。他想出的一套办法，就是仔细观察古冰川补给的湖泊底部的沉积物来评估冰期的延续时间。这里的沉积物是冰川消融水流带来留下的。沉积物的组分是随季节而变化的。粗砂是在夏季沉积的，因为夏季融化作用强烈。细粒黏土薄层是在冬季沉积的，它在砂层之上。一年之中冬夏季沉积组合成的层称季候泥层（varve，这个术语，在瑞典语中意为“层”）。

研究表明，不同年份沉积的季候泥层，厚度是不同的。在潮湿年份沉积的季候泥层比干旱年份沉积的要厚。潮湿年和干旱年的沉积组合，便形成季候泥群。还发现，一个地区所有湖泊中的季候泥层显示出一种相互类似的型式。在研究冰川后退了若干个湖盆的沉积层之后，就能一年一年地计算出冰期的时间。在南面一些湖泊的沉积层顶部附近出现不同的型式。往北，这些不同的型式，出现在一些后形成的湖泊底部附近。通过向着北方行进，并在连续分布的湖泊中研究季候泥层的型式，这样，便使人们得以估算出冰盖后退的年代。

德吉尔和他的学生们为欧洲做了一套合情合理的逐年估算。有一位学生叫 A. 安特弗斯在北美，从长岛海峡到哈得孙湾，做了一个类似的估算。他们的工作促进了最近一次冰川作用年代的测定。

冰川期末期的估算

德吉尔估算，冰川末期始于瑞士北部翁厄曼河上游叉口处冰川的融化。在那时，很像现在那样的气候条件，在欧洲大部分地区已经出现。

德吉尔根据自己的研究和计算的方法，得出结论：冰期大约是在公元前 6740 年结束的。这一估算结果的允许误差不超过几百年。科学家们承认这一时间，认为这一时间是合情合理的、准确的。不过，对这一估算方法还存在不同的看法。这一年代恰好与历史学家们得出的关于人类文明的开始，尤其是关于人类农业的起源和人类进入现代欧洲的起点相吻合。

冰川　GLACIER

世界上有许多高山，一年中夏天的热量，不能把冬天降落的积雪全部融化掉。这样，年复一年，在山谷的上端，降雪就逐渐堆积起来。长年积雪的地方称雪原。夏天，在有太阳的日子里，雪原表层积雪融化，水就渗入雪中，在下面冻结，促使雪转变成冰。位于上面的积雪，还通过自身重量，加压于下面的雪，把下面的积雪压实。经过融化、再冻结和加压，雪原中大部分雪转变成为冰。冰川就是主要由经过再结晶的雪构成的、在陆地表面缓缓移动的冰体。

冰川的类型

根据形状分成 4 类。最多的、也许是人们最熟识的是冰斗冰川。这类冰川通常位于山坡上地势很高且由陡崖怀抱，呈很深的围椅状（半个碗状）的凹地或凹陷之中。一些很小的冰川，像小冰川、坑冰川或穴（壁龛）冰川也都归入冰斗冰川一类。在美国与邻国毗连地区有 950 个冰斗冰川。在欧洲阿尔卑斯地区有 1 500 个冰斗冰川。

当雪和冰积累到足够厚时，冰就开始顺坡向下滑动。从雪原向山谷缓缓往下移动的冰体称山谷冰川。这类冰川大小不一，小到若干公顷，大到长达数十千米，像一条巨大的舌头。这类冰川在高山地区常见，例如，在美国西部落基山脉约有 50 条，南欧阿尔卑斯山脉则更多。分布在山麓地面上的、连成一片的薄冰层称马山麓冰川。这种冰川也称山麓贯通冰川，它是由若干个山谷冰川在从上向下移动中，经过扩展和互相贯通形成的。大部分山麓冰川形状像平坦的煎饼锅，它那往上翘起的锅把相当于山麓冰川的补给。

山谷冰川运动缓慢，但力极大，在移动路途上它携走各种岩块，作为切割的工具。山谷冰川运用这种工具，并通过自身的冰体，加深原来的谷底，剪切和拓宽山谷的坡地，经过冰川后退作用的山谷，具有 U 字形，而水流切割而成的

山谷则呈V字形。中加利福尼亚的美丽的约塞米蒂谷是一个典型的冰川切割成的山谷。

冰盖是一种占据地表很大面积、形状不规则的大冰川。冰盖厚度很大，面积有5万多平方千米。如果冰盖向四周展开，不受下垫地形的限制，那么这种冰盖便称大陆冰盖。这类冰盖现在只分布在极地，而在更新世时，它们覆盖了北美和南欧的广阔地区。（参见：**冰期**）

格陵兰冰盖的面积约有172.6万平方千米，厚度约3千米。靠近它的边缘，有山脉围住，部分冰体越过山脉顺着深谷运动，进入海中。南极冰盖大得多，面积约有1 300万平方千米，约为美国面积的1.4倍。这个冰盖的厚度超过4千米。它的年平均水量估计约为2 600万立方千米。南极冰盖占世界冰储量的90%，占世界淡水储量的75%左右。

山谷冰川、山麓冰川和冰盖构成一个冰川发育的渐进顺序。以格陵兰冰盖为例。可能，它发源于沿海山区，随后，发育成千万条山谷冰川，山谷冰川向内陆伸展，形成山麓冰川，然后，在这里渐渐加厚，形成冰体，冰体渐渐增高，高过山峰。

冰川运动

冰和雪的抗压性能很差，所以容易变形。虽然，冰川运动通常也说成"流动"，不过冰的运动是通过冰的自身质量的重力作用而产生的。冰川有两类运动：一是冰顺着地面缓慢地滑动，另一种是快速的冰崩。由于自身重量作用而变形的冰川冰的运动，同塑性体和黏滞液体的运动是相似的。在山谷冰川中，冰川表面的中心部分，比它的两侧运动得快，这与水流中的情况相同。运动速度通常为每日数毫米至数米。按照这样速度，对一条长的冰川来说，从冰川上端雪的降落到冰川鼻（冰川前锋）上冰瀑布的出现，要经历数百年，甚至数千年。在雪线以下，由于冰、雪融化形成的水（消融水），在冰川之内通过冰通道进入地下，有些山谷冰川的冰雪消融水也会顺着冰川两侧，流向地面。当消融水到达山谷冰川的下端，可形成湖泊，或汇合成河，流入大海。

冰川的侵蚀作用

由于冰川向低处运动，大多数冰川要侵蚀其下垫的岩石，并沿途搬运各种物质。冰川的威力明确地显示于沉积在许多冰川遗迹边缘的岩石碎片的数量上。被深深刻刨、磨光的基岩和被凿制成半圆形的河谷只是冰川侵蚀作用的一部分见证。岩石和土壤碎屑也被重新搬运，成为运动着的冰川物质的一部分。冰川运动产生的大量的侵蚀痕迹已被鉴定出来，并已按造成这些外形的冰川类型进行了分类。大陆冰盖运动使地形变为流线形，山峰和山脉经过冰川运动，变成圆顶。鼓丘具有流线形的外形，它由未经分选的、一般粗劣分层的冰川碎屑物如冰碛物组成。

山地冰川造成的外形是容易被识别的，因为这些外形还不像大陆冰盖造成的外形那样同地形已交融得那么好。例如，在古分水岭两侧形成的冰斗，往往造成锯齿状的山脊，即刃脊。刃脊往下，在山顶区的遗址之下，由于冰斗作用形成一个鞍形面，称山口。如果若干个冰斗一起扩大，汇合起来，便形成一个被典型的垂直冰斗包围起来的孤零零的山峰，这就是角峰。最有名的角峰是瑞士的马特峰。冰斗融化后，冰斗下面的洼地便充满水，形成冰斗湖。有时，形成一系列的冰斗型外形，而在每一冰斗下面，形成一个冰斗湖。这样一连串分布的山湖，被划分成为一类，称串珠湖，因为它像一串祈祷用的念珠。

冰川沉积

冰川沉积指岩石、砾石和砂等碎屑物的沉落，这一作用是在冰开始融化时产生的，在终端最明显的冰川沉积物称为冰碛物。冰川顶部表面的冰碛层小丘和冰盖边缘堆积的陡峭扇状冰碛层称为冰砾阜。

后退冰川的融水常常带着各种物质，在扇形冰水沉积平原上或冰水沉积平原上堆积起来。纽约长岛南部是这种情况的一个明显的例子。分布在冰川谷内的狭长的冰水沉积体称为谷边积。后退冰川沉积的冰碛物构成各种地貌，其中主要的是冰碛地貌，这主要是由冰碛组成的规模大的地貌。终碛是位于冰川末端外侧的垅岗状的冰碛。后退终碛堆积处，表明冰川前峰曾经有一段时间暂时稳定在这一位置上。侧碛是沿着一个冰川的两侧堆积起来的堤形冰碛。当两条或更多冰川，在顺坡下移运动中汇合，则这些运动着的冰川相邻侧部的碎屑物，便在中间形成岗状堆积。当冰川融化时，它便散落在谷底，最后形成中碛。

世界上许多高山高纬度地区，在地球历史的长河中，曾多次经历冰川活动而改变了面貌。冰川活动引起地面变化，称冰川作用，而存在冰川作用的地区，则称为冰川作用区。

冰山 ICEBERG

浮在海洋上的冰山是水手们害怕的事物，同时又是所有第一次看见它的人眼里的奇迹。它们是滑落海里的冰川的断落的碎片。它们大小不一，小的碎啸冰已经对船只造成威胁，而大的则真像一座山那样，有的宽1.6千米或者更宽些；水面上的部分高60米，或者还更高些。

冰山水下部分的大小是水上部分的大约7倍。这是因为冰山是淡水的冰造成的，淡水的重量是海水重量的大约$\frac{7}{8}$。如果是在淡水里，冰山的大约$\frac{9}{10}$将沉入水面以下（见：冰）。冰山的水下部分可能比可以看到的部分的一边伸出去很远，因此船舶驶近了可能撞上它。巨轮泰坦尼克号就是这样给碰上的，1912年4月15日沉没在纽芬兰附近，约有1 500人丧生。

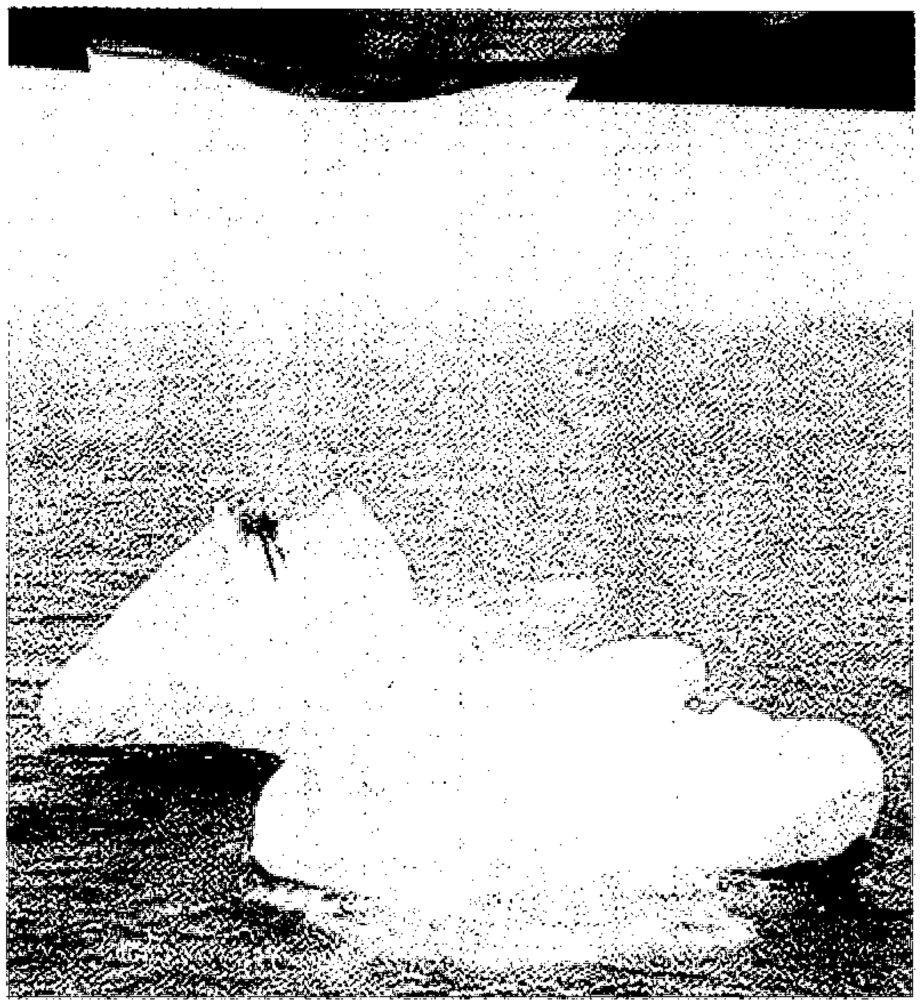
冰山这些海洋的流浪汉经常被雾笼罩着，没有雾的时候，它在阳光下闪烁发光，反射大海和天空的各种色彩，十分美丽，令人眼花缭乱。许多冰山在漂流时呈现诸如城堡、牌楼或者圆顶的清真寺等等奇形怪状。到了夜里冰山闪着称为"冰原反光"的特殊的白光，它是微弱的光线从晶体表面反射造成的。

新的冰山是在不停地形成着的。北大西洋的新冰山来自格陵兰大冰盖，是冰盖向前推移的边缘断裂产生的。在这些地方，早春解冻的时候，一大串漂浮的冰岛开始它们向

南的旅程。在4月、5月、6月的某些时候，平均有400座冰山到达北大西洋轮船的航线。

冰山在漂浮途中迅速在盐水中融化，巨大的浪涛加速了它们的毁灭。它们在溶解中可能一分为二，可能翻身或者崩塌，分离出庞大的碎片同时发出巨大的轰鸣。虽然如此，有些冰山是如此之大，它们在消失以前经历了3 200千米以至更长的路程。

有两条航线特别危险，一条是通过贝尔岛海峡进入圣劳伦斯湾的航线；另外一条是沿着大浅滩的航线。从1914年起，美国海岸警卫队在北大西洋实行冰的观察和冰的巡查的国际服务。这项服务是由各个沿海国家资助进行的。



飞机投放在冰山上的染料是冲洗不掉的。有了这种朱红色染料的条纹作标记，就可以观察冰山漂流和消溶的速度，保证航运的安全。

它用无线电广播遇到的冰山的位置和运动的情况。美国水道测量办公室也发布用图标明的冰山地区的公报，以及指明每个季度穿越海洋航行的安全路径的领航员的海图。美国海岸警卫队的快艇和飞机装备了雷达和远距离无线电导航系统以便确定冰山的位置。除此以外，水下声音装置和敏感的仪器能够记录万分之一度温度的差别，也有助于冰山的定位。（参见：冰川）

地震 EARTHQUAKE 地面下的岩石块改变位置时所发生的大地突然震动称为地震。移动的块体发出地震波，其强度可使地球表面变形，大地上耸起陡崖并裂开巨缝。

地震几乎不断地发生。幸亏，大多数地震只有用称为地震仪的灵敏仪器才能检测出来。其他的是可感觉到的小地震。但是，余下的一些则可引起重大灾祸。它们可产生灾难性和惊人的后果，例如毁坏城市、破坏大坝、造成滑坡、引起称为海啸的巨大海浪和火山爆发。世界上有些地方经常一年至少发生一次很大的地震。

平均每年有10 000人死于地震。根据联合国的调查研究，在1926年－1950年间，因地震死亡350 000人，财产损失超过100亿美元。虽然有检测地震的先进方法和较好的警报系统，但是由于城市扩大以容纳迅速增长的世界人口，可能在未来的地震中生命和财产的损失还要增大。人类早就关心地震的危险。最早的历史记载见于3 000年以前的中国商代。

虽然强烈地震本身肯定有破坏性，但是地震的冲击波还可引发其他类型的地球运动。例如，许多地震伴随着的猛烈震动常常引起岩滑、雪崩和滑坡。在有些地区，这些事件的破坏性往往比地震本身还大。

地震还可引起泛滥和火灾。泛滥发生于沿海岸线的海啸、湖泊和水道等封闭水体的大规模湖震和水坝损坏。1906年旧金山地震引起的火灾造成了最大的财产损失，该城市中心的521个街区燃烧了3天，无法控制。1923年东京地震也引起了火灾，给市民造成很大的损害和困难。

原因

大多数最恶劣的地震都与地球的最外层，特别是地壳的形状变化有关。这些称为构造地震的一类地震，由于储存于地壳岩石中的应变能急速释放而产生，大陆上的地壳厚约35千米（见：**大陆**）。一小部分地震与人类的活动有关。例如，黄色炸药或原子弹的爆炸有时可引起轻微的地震。向地球内深深注入废水和有坝的水库储存庞大水量所造成的压力，也能引发小型地震。

但是，最强烈和最有破坏性的地震都和称为断层的地壳破裂有关。虽然在世界大多数地区都有断层，但是，地震与它们不全有关。地球内的压力使地面下的巨大岩块产生应变。应变不断积累，直至这些岩块突然沿断层运动，从而释放出能量。岩块沿着岩石中的断裂作相反方向的滑动，使上面的土地震动。这些岩块可以上下、左右或垂直和水平运动。地面上土地的移动幅度可由数厘米到几米。使地球表面出现一些断层线。（见：**地球**）

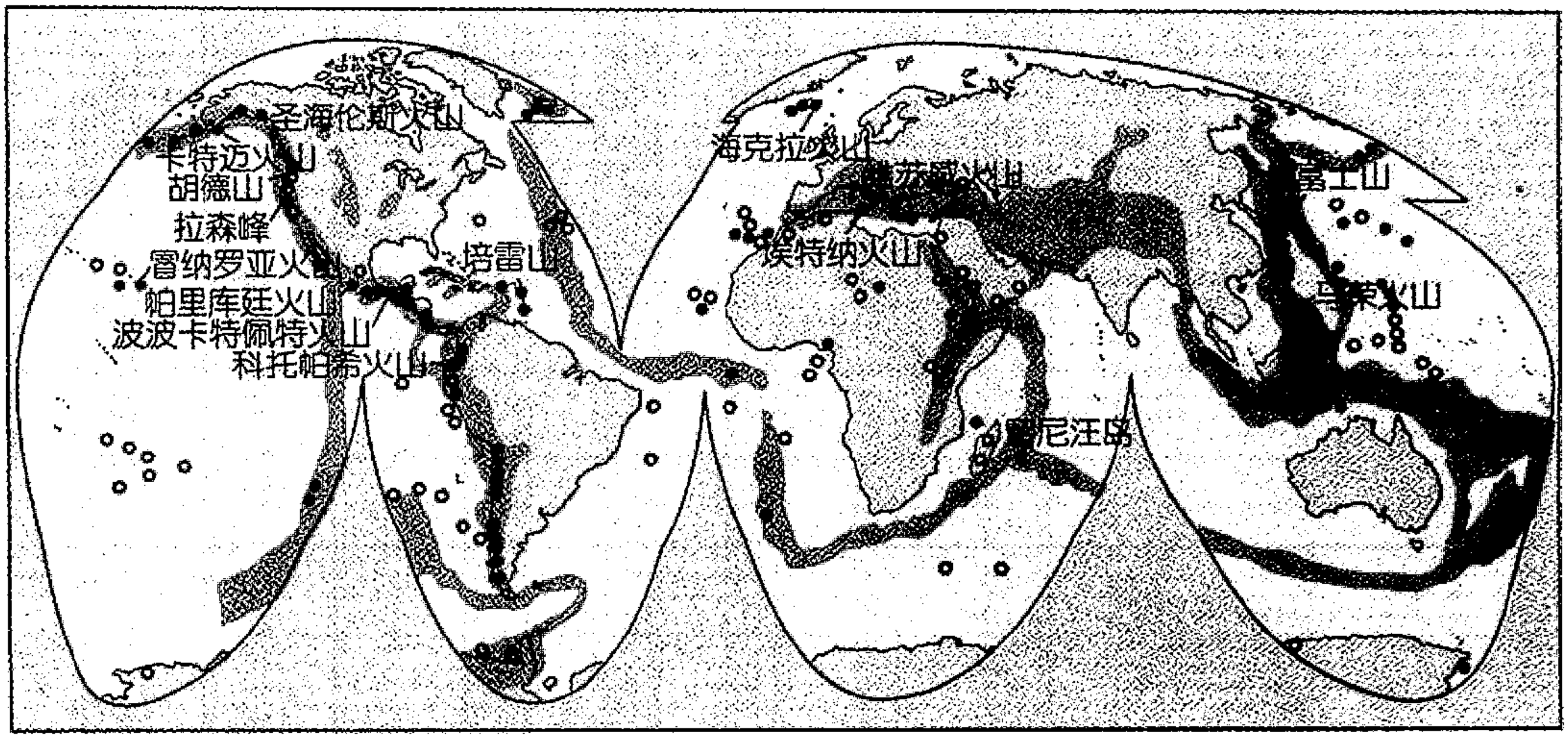
冲击波

地震中移动的岩石使冲击波——称为地震波——通过岩石向各个方向传播。在大的地震中，距地震中心数千千米以外的人都可以感觉到冲击波。称为地震仪的检测和记录仪器，可测出地球另一侧的冲击波。

地震波分为两大类：在内部传播的波和面波。此外，地震波分为三种基本类型。初至波称为P波，从称为震源的破裂点开始在地壳内传播，地面上正位于震源上方的一点称为震中。P波使它所通过的岩石交替压缩和膨胀，并沿着与该波传播方向相同的方向振动。第2个波称为S波，沿着与波动传播方向垂直的方向振动。这些波是“震动”波，它们使质点上下或左右运动。S波的速度总是小于P波。通过比较P波和S波到达地震观测台的时间，科学家们可以确定数千千米以外的地震位置。最后，当P波和S

波已通过地球体后,接着是两种类型的面波,称为L(I)波和L(II)波。因为它们的较大振幅,可引起远离震中处发生破坏性的震动。这些面波的传播比内部传播的波慢,是最强大的冲击波。

震源可发生于从地面附近到深约700千米的深处。但是,每年产生的地震能量中有75%是那些震源深度小于60千米的地震所释放的。它们是危险的地震,对居民区有严重的危害。它们称为浅震。



地震带标以深色。黑色圆点表示活火山,小圆圈表示死火山。

检测

地震仪在一个外面包着纸的转动滚筒上记录地震波的图像。这些波状线示出各次地震波的强度及其产生的时间。其轨迹称为地震波曲线。研究地震的学科是地震学。

地震仪基本上是一个重摆,在它的转动滚筒上方或前方悬挂一根自记笔或指针。有一个机械或电磁阻尼机构辅助,保持该摆静止。地震期间,摆和指针保持稳定,而固定于底座上的线圈则运动,从而记录下波动的图像。在某些地震仪中,用一束光线在相纸上描绘下图像。

有些仪器,例如电磁测震仪可记录下通过电子放大器后到达记录式检流计的感应电流强度。地震胶卷记录仪扫描一张迅速运动的底片,得到灵敏的时间运动记录。折射波和反射波通常记录在磁带上,它适于进行计算机分析。应变仪对于距约30米的两根混凝土标杆之间距离的变化进行电子测量,即可检测出地震期间大地中的压缩和扩张运动。贝尼奥夫线性应变地震仪可检测与构造运动过程有关的应变,这种过程与传播地震波有关,并可检测地球的固体潮涨落量。新的发明包括旋转地震仪、倾斜仪、宽频带长周期地震仪和海底地震仪。

在世界各地震台部署了特性准确相同的地震仪,以记录地震信号和地下核爆炸。世界标准地震台网包括约125个地震台。

地震的强度可用破坏程度或仪器读数来衡量。地震学家通常用修订的麦加利地震烈度表来确定一次地震所引起的破坏程度。它规定了12级地震烈度。

里氏震级表将地震列为1到10级。它依据的是岩石运动所释放出的能量大小,而不是地面破坏。

里氏震级中对震级的定义为"在距震中100千米处用称为伍德·安德森地震仪的一种特殊地震仪所记录下的最大地震波的振幅的以10为底的对数(以千分之一毫米为单位)"。该定义现已引申到用于在任何距离使用任何已校准的地震仪。

每升高一个震级,粗略相当于地震波所释放的能量增大30倍。因此,1964年阿拉斯加的8.6级地震所释放的能量,不是4.3级地震波的2倍,而是4.3级地震所释放能量的800 000倍以上。

据估计,9.0级是地球中构造上所可产生震级的上限。在震级表的另一端,2级约为人们不借助仪器而可感觉到的最小地震。每年共发生18 000次-22 000次2.5级以上的浅震。

活动区和板块构造理论

大多数地震发生在世界两大地震带中。这些地震带与较近期形成的山脉和火山活动带相一致。一条地震带环绕太平洋,沿着北美和南美多山的西海岸,并穿过亚洲的岛屿地区。据估计,现在地震中所释放的能量中有80%来自这一地震带。

活动较弱的第二条地震带位于欧洲与北非之间的地中海地区,还包括亚洲的某些部分。此地震带中所释放出的能量约占全世界的15%。还有显著的地震活动关联带,主要沿着大洋中脊——包括北冰洋、大西洋和西印度洋中各

洋脊——和东非的裂谷。

世界其他地区的大部分至少会偶然发生浅震——这些浅震来源于地球表面 65 千米以内。世界的重大地震发生于较好限定的两条狭长的地带，在二者之间的广大地区内只有少数地震。这些地区称为无震区。两条狭长的地震带一般与大洋中脊的位置和称为环太平洋"火环"的地区相对应。

现代地质学中新近发展的板块构造理论，使人们对于在世界各构造板块边界与地震的地理分布之间有直接关系的论点，很少再有怀疑。地壳被划分为许多分离的板块，其边缘与大陆的数条海岸线很好地相符。科学家们早就认识到，这些板块边缘在地震研究中极其重要。沿着活动的板块边缘发生的重大地震，均与称为喷出、消减和叠置及横断等地球物理过程有关。

熔融物质流从上地幔沿着两个相邻板块的交界处上涌时，此两板块从扩展的中心移开，造成一个充满该熔融物质的断裂谷。这种类型的构造运动称为喷出；这种断裂谷一般与火山的形成有关。这种板块边界的最好例子，就是形成大西洋中脊的板块边界。它标志着约 2 亿年前非洲曾和南美相连的地区和欧洲从北美分离出去的地方。

虽然有些板块正在相互移开，但是有些却正在相互移近。为了适应两板块相撞时的运动，一个板块的边缘必须滑过另一板块或者滑到它的上面。一个板块滑到另一板块上面时，称为叠置。转入地幔更深部分的板块称为被消减的板块。许多海底接合面均以大洋沟下面的巨大逆冲断层带为标志。它称为贝尼奥夫带。大洋沟的向陆侧有岛弧，例如阿留申群岛和千岛群岛。这些列岛与地球的最活跃火山带有关。

构造运动的第三种类型称为横断，发生在两个相邻板块相互滑过时产生一系列的捩断层或横推断层的情况下。这种接合面类型的最好例子，就是太平洋板块横向摩擦而滑过北美板块处，基本上沿着著名的加利福尼亚州圣安德列斯断层。圣安德列斯断层在地面上可看见许多千米。它是一个几乎连续的断裂，从加利福尼亚的南部到北部海岸的波因特阿里纳，延伸 1 050 千米。它离开波因特阿里纳后绵延于太平洋下面。1906 年的旧金山地震即发生在此断层上。

虽然科学家们普遍认为，最大的构造不稳定性区域与缓慢运动的各板块的边缘相一致，但是，决不能设想，重大的地震只沿着各板块的边缘发生。在板块内部的脆弱区域，偶然也会发生破坏力同样强大的严重地震。

在 1811 年-1812 年之际的冬季，美国密西西比河河谷发生了 8.4 级以上的 3 次地震。在美国境内历史上从来没有发生过比它们更大的地震。这几次地震的震级可与最大的加利福尼亚地震相比，并且在很大的范围内被感觉到。在稳定的地块内也曾发生过强烈地震。

预报

在探索预报未来地震的位置、时间和强度的线索方面的许多尝试中，最好的结果似乎与利用地震观测台的地震活动性研究有关。（但是，中国的研究人员却在某种程度上利用动物因预先警觉而烦燥不安的现象而取得一些成功。）另外一些方法立足于检测一个地区内地震记录中的空区，断层中长期未发生位移的部分更可能释放积聚的应力。

地震学家已发现，在重大的地震前常有一些前兆，即震中的周围环境中有某些可测出的物理变化。这些变化包括断层带的地壳变形程度；发生扩容现象，即岩石体积增加；井中的氡含量增加。对这些变化进行不断的监测和密切的检查，可望提高预测的能力。对于某些潜在震源区可以制订出地震危险性图，例如加利福尼亚，那里的地面断层可被监测。此法适用于横断带，例如沿着圣安德列斯断层，但是不适用于消减带，在那里的贝尼奥夫带深处发生的地震活动，只与地表构造约略有关。

减轻地震危险

虽然地震可引起死亡，并可通过次生效果，如滑坡、地震海啸、火灾和断层破裂来造成破坏，但是在生命财产方面的最大损失却是由于在大地猛烈震动期间地面和地下的人为建筑物的倒坍。地震学家例行收集大量的数据来解释所记录下的在地震期间发生的大地运动特征。为了预测未来地震中的大地运动，从而设计出抗地震的建筑物，需要这些知识。

减轻地震破坏性的最有效方法，就是设计和建造能抗强烈震动的建筑物及其他构筑物。例如，当建议在一个地址建造一座办公楼时，必须考虑附近断层线的几何形状和摩擦性质、地震波通过周围地表岩石的可能性和建筑物周围的土壤和岩石情况。

在许多情况下，利用一幅表示出一次模拟地震所引起的加速度、速度和位移的图，即加速度记录图来确定一个地址建造建筑物的安全性。在许多国家里，经济情况通常要求建筑物的建造不必完全防止一切破坏，而只是尽量减轻中等地震的破坏，并保证在最强烈地震期间不会出现严重倒坍。

火山 VOLCANO

火山是地表的一种喷口或孔洞，由此喷发熔岩及有关气体和灰尘。火山一词也指由喷发的物质积累而成的构造，通常为锥形。火山主要见于板块构造边界处，在称为太平洋火环的太平洋盆地一带尤为常见。（见：**板块构造学**）

人类长期受到这种强大自然力的威胁。古罗马人认为，火山事件是火和锻冶之神伏尔甘所造成的。公元 79 年维苏威火山的喷发，破坏了古罗马的庞贝城和赫库兰尼姆城。波西尼亚人认为火山受女火神贝利所掌管。历史记载中最壮观的火山喷发发生于 1883 年，是爪哇附近巽他海峡中一个小岛上喀拉喀托火山的爆发。更近一些的例子是华盛顿州喀斯喀特岭中的圣海伦火山在 1980 年的激动人心的喷发。

火山的形成和喷发

即使是灾变性的或相对温和的火山喷发，也可能是猛烈的。最有爆发性的喷发主要是蒸汽喷发，可形成壮观的

情景。当熔融岩石冲出地壳内的长裂缝而溢流到周围景观时，则发生较温和的裂缝喷发。这些重复的熔岩泻出可能充填周围的山谷并掩盖低的丘陵，形成很厚的熔岩堆积，最终成为高原。

地质学家称熔融岩石的来源为岩浆，现在对它尚未认识清楚。全部岩浆中约有80%由玄武岩组成。地球物理研究提出，火山岩浆在地壳底部附近形成，并在由地面喷发前向上移动到较浅的岩浆房内。岩浆之所以上升，因为它们不如深度较浅的岩石重，并且其热量可能降低周围岩石的强度。岩浆向上的运动，也可能是由于熔融岩石内的气体膨胀或者岩浆上面的岩石溶解的化学反应。火山物质通过孔道或火山管道移向地面，并自地面的喷发口喷出。（参见：熔岩和岩浆）

喷发有不同的形式，取决于岩浆到达地面时的组成。突然的喷发常伴随着低黏度（流动性较大）的岩浆，这时膨胀的气体形成泡沫，后者变为一种玻璃状的轻质岩石，称为浮岩。在高黏度（较稠的）岩浆喷发时，气体压力可将岩石吹散为碎片。火山爆发所形成的火成碎屑岩按照大小命名：砂粒般大小或更小的称为火山灰，更大的则称为火山弹。凝结的火山灰称为凝灰岩。较温和的喷发从岩墙或岩墙群（横穿岩层的岩浆侵入）中释放出流体玄武岩。这类喷发的覆盖面很大，并常产生丝状或绳状熔岩、熔岩流。较稠的玄武岩熔岩破碎成大块或小块，形成块状熔岩流，称为块熔岩。

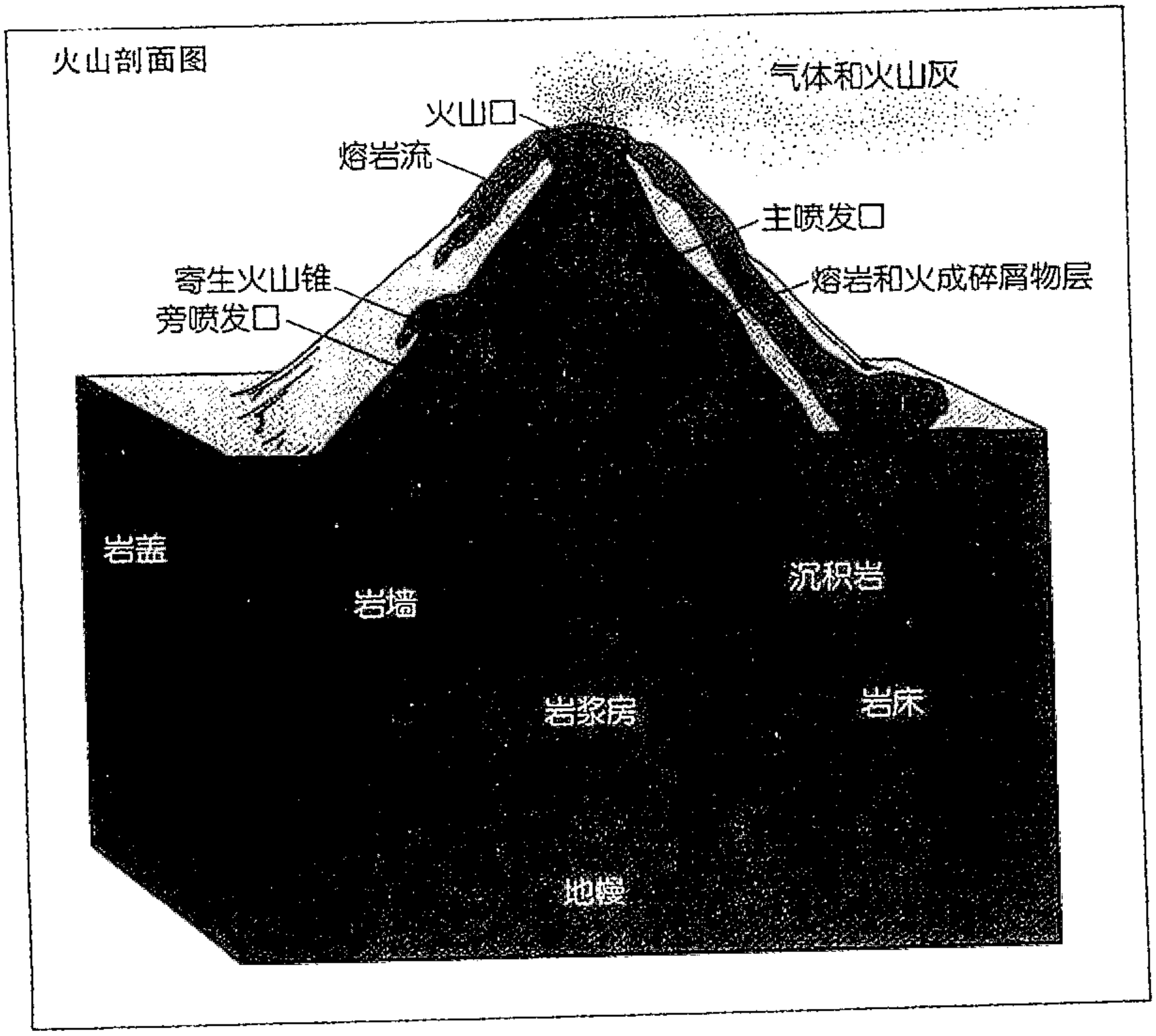
火山活动的产物可分为两类：熔岩和火成碎屑物。熔岩是火山活动的流体相。火成碎屑物（又称火山碎屑）是火山喷出的、大小不一的热岩屑颗粒。熔岩或火成碎屑物被喷射时，其喷发通常伴随着水和气体的喷射，它们之中有很多是有毒的。熔岩通常形成狭长的熔融岩石河，顺着火山山坡流下。

爆炸性喷发是壮观的事情，最好是在安全距离以外来观察。火山爆发时常伴随着地震、高耸的蒸汽柱、闪电和强烈的旋风。喀拉喀托火山的喷发引起一次海啸，即一种巨大的海浪，它扫荡了爪哇和苏门答腊海岸并淹死了36 000多人。火山可能以惊人的速度增长，常会影响到火山锥形成区域以外很远的地区。如果火山位于海中，则其喷发可能比陆地上的火山更猛烈，因为熔融岩石与海水接触时会产生蒸汽。

火山还形成火山口和破火山口。火山口由于火山活动中有大量物质崩溃、异常猛烈的爆炸或在随后而来的休眠期内受侵蚀而形成。破火山口是巨大的盆地状洼地。它们大都形成于岩浆房排空并且不再供给上面的火山锥后，火山锥随后即向内倒坍而形成盆地。最著名的例子之一就是夏威夷的静止-活动的基拉韦厄破火山口。

火山的类型

火山通常按形状和大小分类。它们取决于所喷出火山物质的体积和类型、喷发的顺序和变化，以及环境等因素。最常见的类型有盾形火山、成层火山和火山渣锥。



在一个典型的复合火山中，热岩浆从地幔中上涌并收集于一个岩浆房中。岩浆上涌时开始失去气体。在火山喷发中，岩浆通过主要裂口或管道上涌。熔岩和火成碎屑物从火山口喷出。火成碎屑物是不同大小的热岩屑颗粒。岩浆通常在较静止期流出。当爆发喷出液态熔岩时，后者在锥侧硬化和凝固，即形成火成碎屑物。还喷出水和气体。火山锥由相继的固体熔岩层和火成碎屑物层堆积而成。当热熔岩在各岩层间或者通过裂缝蠕动时，则形成旁喷发口。旁喷发口到达表面时，有时会形成寄生火山锥。沿着裂缝固化的熔岩板称为岩墙。岩盖是一种侵入沉积层之间并使覆层膨胀的凝固团块。

盾形火山具有低而宽的轮廓，由于高度流动的玄武岩流扩展在宽阔的面积上而形成。流体玄武岩不能堆积成锥边坡度比7度大得多的火山锥。但是，数千年后这些火山锥的体积可达到很庞大。夏威夷群岛由许多盾形火山组成，它从海底起，到达高出其上约5千米的海面。冒纳罗亚火山和冒纳凯阿火山等峰高达海拔4 145米。夏威夷是世界最大的熔岩构造，而冒纳罗亚从海底算起，就高度和体积而言，是世界最大的山。

成层火山是最常见的火山形式。它们由交替的熔岩层和火成碎屑物层所组成。当缓和的熔岩流停止时，在火山管道内形成一个凝固熔岩密封块。下面的压力逐渐增大，准备火成碎屑物的猛烈爆炸阶段。这种交替循环自动重复，使成层火山以猛烈而著名。

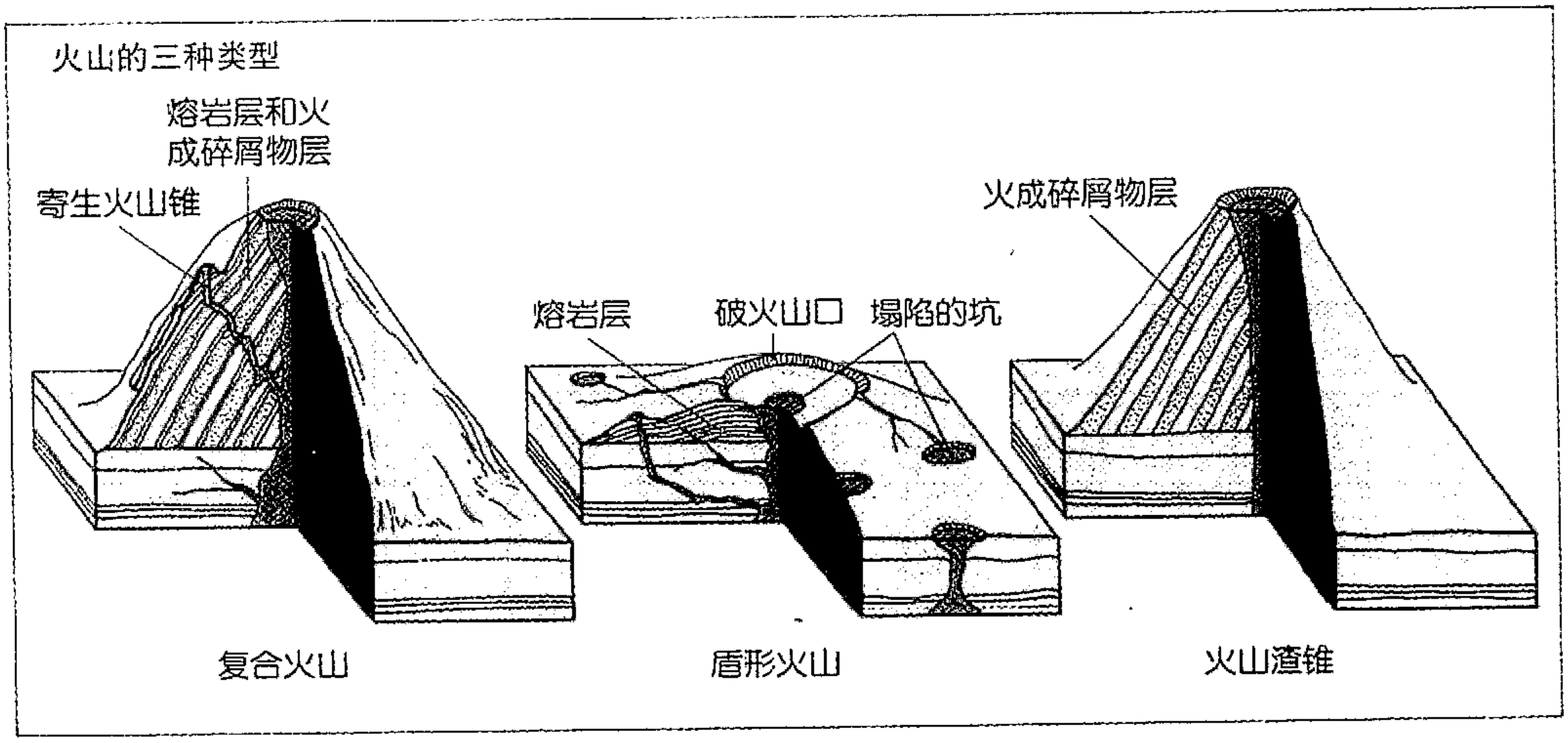
火山渣锥是主要由火山渣颗粒大小的火成碎屑物所构成的锥形丘。火山渣锥的外形取决于休止角，即岩屑保持稳定而不滑向山脚的最陡角度。落在山顶附近的较大火山渣碎屑，可形成30°以上的坡度。较细的颗粒被带得距火山口更远，并在锥底形成约10°的慢坡。这些火山倾向于具有爆炸性，但是也可能喷出一些熔岩。火山渣锥很多，各种大小都有，并倾向于陡峭地高出周围地区之上。位于较大火山侧面的火山渣锥称为寄生火山锥。

火山活动通常有短的活动期和长得多的休眠期，死火山是现在不喷发并且将来也无望喷发的火山。休眠火山虽然目前不活动，但在某些历史时期内喷发过，并且将来可能喷发。静火山是已知在若干历史时期内喷发过的火山。但是，这种分类是有任意性的，因为几乎任何火山都可能再次喷发。

在火山活动后几个时期，岩浆可能加热循环的地下水，产生温泉和间歇泉。间歇泉是温水喷泉，间歇地以巨大的力量喷出。最著名的例子之一是美国国家黄石公园中的旧费斯富尔间歇泉。喷气孔是喷出烟气或蒸汽的喷口。

火山沿着大陆板块扩张处的张力带和大陆板块汇合处的压缩带产生。熔岩喷发的型式与板块边界的种类不同有关。由海底扩张带的裂口和洋中火山涌出的大部分熔岩是玄武岩。在海洋板块碰撞处，岩石的类型多为玄武岩和安山岩。凝固火山灰流见于海洋板块与大陆边缘汇合处附近。

约有800座火山现在是活火山，或者在某些历史时期内曾是活火山。其中75%以上位于太平洋火环中。这一地带的一部分与美洲西北部和南美的年轻山脉和分布在太平洋盆地北侧和西侧的火山岛弧相一致。地中海-亚洲造山带的火山很少，只有印度尼西亚和地中海例外，反而有较多的火山。海底火山沿着世界各海脊排列，而其余的活火山分布在非洲各裂谷一带。



复合火山或称成层火山，具有交替的熔岩层和火成碎屑物。盾形火山因其低而宽阔的形状而命名。它通常具有一个顶部火山口或破火山口和若干塌陷的坑。火山渣锥一般具有主要由火成碎屑物所组成的陡坡。

火山喷发研究

火山学是地质学的一个分支学科，研究火山和火山活动。虽然火山的研究由于危险而难以进行，但是火山观测站已存在数十年了。

科学家观察活火山，以获取有助于预计火山喷发的时间和强度的信息。灵敏的仪器可检测喷出物的温度变化、化学组成、地球运动、磁场、重力及火山的其他物理性质。现代的地震仪网可提供有关地球内部构造和火山活动的信息（见：地震）。地震的烈度、频率和位置可提供火山活动的重要线索，特别对于临近的喷发。岩浆的运动通常产生多次颤动，有时每天超过1 000次。熔岩喷出时一般伴随着几乎连续的颤动。倾斜仪（测量大地倾斜的仪器）有助于检测由于岩浆积聚和运动而引起的火山膨胀和风蚀。研究人员还监测熔岩的化学组成变化和岩石学变化和喷出气体的化学组成变化。

火山喷发的方式多种多样。即使是同一座火山，在一个活动期内也会经过若干喷发阶段。喷发的分类根据熔岩的地球化学组成和黏度、熔岩流动或火山灰释放的性质，以及有关的现象。岩浆喷发最为常见，但是，最猛烈的喷发发生在火红的岩浆接触地表水、冰或地下水时蒸汽爆炸的情况下。

因马提尼克的加勒比群岛上的培雷火山在 1902 年的喷发而命名的培雷喷发，其特征为岩石和浮岩碎片的炽热流高温气体陷入这种"灼热的崩落"中，引起了特别猛烈的喷发状态。

中等力量的喷发以普林尼喷发为代表，它因普林尼(老)而命名，他曾目睹庞培和赫库兰尼姆被火山破坏。普林尼喷发的特征为喷出高黏度的熔流和被释放气体的猛烈爆炸，向天空喷出大量的火山灰、火山渣、火山弹和团块。随后还可发生火山泥流、滑坡和火山泥流物(火山岩屑流)，尤其是在喷发伴随着暴风雨时。

猛烈程度稍低的夏威夷和斯特龙博利类型的喷发，出现在常产生火焰喷泉线的裂缝处。这类间歇泉式熔岩喷泉可能向空中喷射数百米高，并形成几乎连续的火幕。玄武岩熔岩的流动性极大，并且顺着山坡向下流入山溪。这些熔岩流到达海洋时则形成枕状熔岩，即貌似一堆枕头的叠加熔岩片。

火山可提供天然资源财富。喷出的火山岩、气体和蒸汽是重要工业材料和化学品，例如浮岩、硼酸、氨和二氧化碳的来源。冰岛雷克雅未克的大多数家庭都是用火山泉流出的热水来供热的。同法供热的温室可向这个亚北极带的岛提供新鲜蔬菜和热带水果。在意大利、新西兰、美国、墨西哥、日本和俄罗斯，都开发地热蒸汽作为发电的能源。火山方面的科学研究提供了有关地球过程的有用信息。

火山学名词

破火山口 上覆的火山锥塌陷而形成的巨大盆状洼地。

火山渣锥火山 通常高度对称的火山碎屑物形成的锥形小山。

火山口 由于火山塌陷、猛烈爆发或逐渐侵蚀而形成的洼地。

岩墙或岩墙群 注入一裂缝中的板状物体或熔岩体。

火山泥流物 火山物质的泥石流，常发生于火山喷发时或以后。

熔岩 从火山或裂缝中流出的流体岩石，主要由玄武岩、安山岩或流纹岩组成。

岩浆 地球内部的熔融岩石。

火成碎屑物(火山碎屑) 火山活动喷出的各种大小颗粒。

盾形火山 外形低而宽阔的火山，由高度流动性玄武岩石熔岩堆积而成。

成层火山(复合火山) 由交替的熔岩层和火山碎屑物层所构成的火山锥。

喷发口 地面的一种开孔，由此逸出气体或熔岩。

撰文：Charles W. Finkl, Jr.

岩石 ROCK

地球的建筑材料是岩石。岩石是各种矿物按不同比例的组合。一种岩石是由一种或多种矿物组成的。例如，纯砂岩只是由石英组成的。花岗岩主要由三种矿物——石英、长石和云母组成。各种不同矿物"配料"组合成不同种类的岩石。

地球的固体外壳是岩石。土壤主要是由岩石经过风化作用破坏而形成的。在地球固体壳之下是熔融的岩石——岩浆。

有些由动物和植物残体形成的坚硬物质也称岩石。煤便是一个例子，它是由植物物质组成的。石灰岩含有贝壳、海洋生物残体和植物营造的灰质。

岩石的用途

食物生长在由岩石风化而生成的土壤中。有一种岩石是每天要吃的，这就是盐。盐是由矿物石盐组成的岩石。花岗岩、石灰岩、砂岩、板岩和大理岩是著名的用做建筑石材的岩石。它们都是从地球中通过采石被开采出来的。

宝藏产于岩石之中。有些岩石的矿物是昂贵的宝石，如金刚石、祖母绿和红宝石。金、银、铜、铁，以及那些原子时代创造奇迹的金属，如铀和钍，都是现代文明的主要矿物。这些矿产是通过采矿——世界上一种重要的基础工业，被开采出来的。

岩石讲述的地球历史

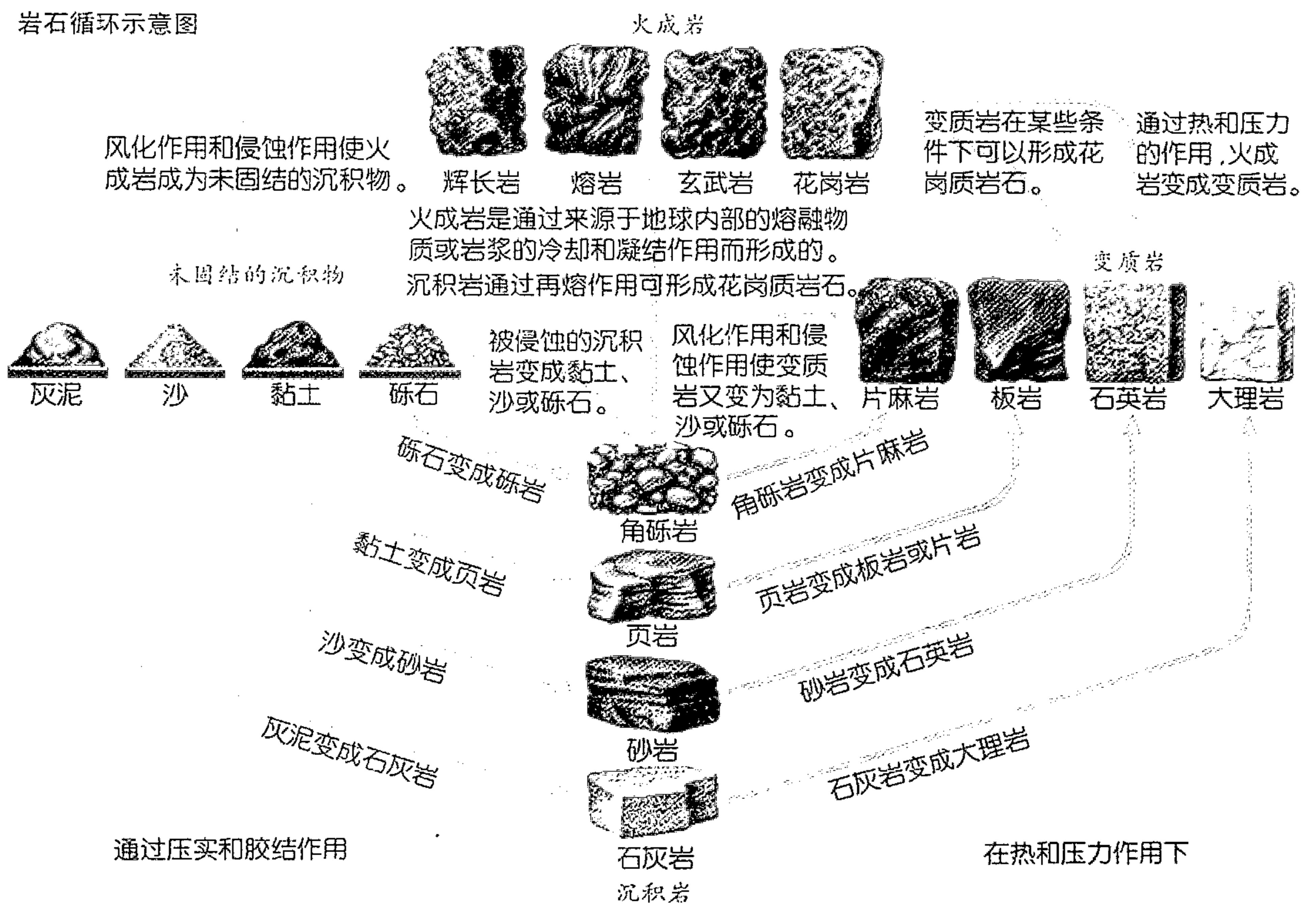
岩石能讲述地球起源和演变历史的迷人故事——千百万年前的故事。它会讲述巨大的爆炸事件；会告诉你高山如何从海中升起，然后又化为平地；它还会讲述大海侵入陆地，然后退出陆地或完全干枯的变迁。岩石会讲解冰块覆盖大地和被毁、被埋的森林变为石头的情形。能够从岩石记录中读懂这种故事的科学家被称为地质学家。(参见：地球；地质学)

所有的岩石按照形成的方法可分为三类。这三类岩石就是火成岩、沉积岩和变质岩。

火成岩是怎样形成的

火成的(igneous)这个词起源于拉丁语 ignis，表示"火"的意思。实际上，火成岩并不是在火上烧出来的。它们是由很热的熔融物质变成的。火成岩是最初的岩石。

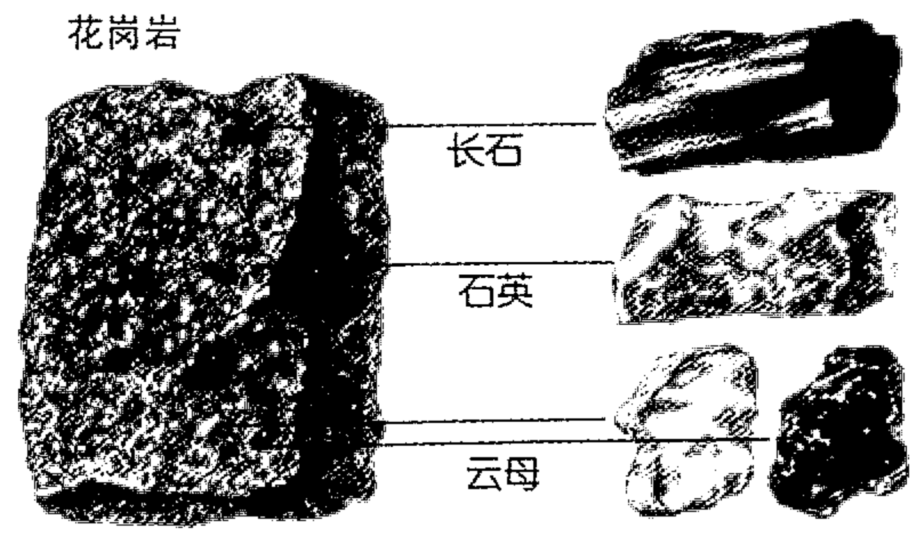
地球起初是由熔融物质或称岩浆构成的球体。这种物质所含的元素是所有物体的构件。当岩浆冷却凝结时，岩浆中的元素便组合成各种矿物。例如氧和硅是两种最普通的元素，它们组合形成石英——地球上最丰富的矿物。当元素换一种组合，就产生另一种矿物——长石。科学家已经查明的约有 1 500 种矿物。但是，能作为造岩矿物的、量大而又重要的，只是少数，如石英、长石和一类叫做铁镁质的矿物。这类铁镁矿物包括角闪石、辉石、黑云母、橄榄石和磁铁矿。这些矿物是暗色的，因为它们含铁和镁。



岩浆是怎样变成岩石的

火成岩是从地下大约60千米处的岩浆坑中出来的岩浆形成的。岩浆是一种炽热的、混有各种气体和蒸气的黏面团似的物质。它顺着地壳中的裂缝上升。如果它在到达地面以前冷凝固结，那么它就形成侵入火成岩。如果通过火山活动而喷出地表，就形成喷出火成岩。

侵入岩冷却得很慢。这种岩石的矿物生成大的晶体。花岗岩便是一例。侵入岩在上覆物质被破坏消失之后便出露于地表。大家知道，火山喷出的岩浆是熔岩。喷到地表的物质，冷却速度很快，不能形成晶体。黑曜岩就是这样生成的玻璃质岩石。不同的熔岩岩石的区别就在于熔岩冷却的速度及其晶体形成的途径。火成岩根据结构分成四类：玻璃质火成岩、碎屑火成岩、细粒（隐晶）火成岩和粗粒（显晶）火成岩。



花岗岩是一种火成岩，它由长石、石英和一种或几种云母组成。

沉积岩

岩石不是永久不变的。它们在风、温度变化、水和冰的作用下，每天在被破坏。大的岩石块从悬崖上掉落下来。最后，它们破碎，变成砾石、沙和泥。经水的冲刷，这些碎屑物又被带入河流，河流沿着河床搬运、撒落，在入湖口和入海口把它们堆积起来。

当这些碎屑物停留下来，便成为沉积物。起初，沉积物是松软的。沉积物一层一层堆积，上覆的沉积层以自身的重量，把碎屑物压密。同时，溶解的矿物质在沉积物的颗粒周围停留下来，把颗粒黏结在一起。然后，固结起来的物质成为沉积岩。

沉积岩有两个特点。第一，沉积岩是由某些原来的岩石的一部分物质，例如某些火成岩的一部分物质组成的。第二，由于沉积过程中水的分选作用，沉积物是成层堆积的，称沉积岩层。因此，沉积岩是成层的。北美大陆的许多地方有沉积岩覆盖。这些沉积岩是从海底升起来的，过去，它们是在海底，在比沉积岩更老的火成岩（即地球的真正地壳）之上形成的。

几种普通的沉积岩

最普通沉积岩是砂岩(见:沙)。页岩是经胶结的泥-粉沙或黏土。砾岩是由卵石,甚至巨砾组成的粗粒岩石。如果砾岩内大的碎屑物仍然是粗糙的、有棱角的,那么这种砾岩被称为角砾岩。石灰岩是由贝壳和分泌灰质的动、植物骨骸物质组成的(见:**石灰岩**)。煤是植物生成的沉积岩。

在沉积岩中可找到化石。晶洞是石灰岩中的空心矿物体。其外层是矿物质,通常充塞石英晶体,从外层趋向中心。晶洞可以起源于内孔洞,如化石内的未填满物质的空间,也可以因压力作用而膨胀。

变质岩

第三类岩石是变质岩。变质岩既可由火成岩变成,也可由沉积岩变成。产生变质岩的力有:(1) 因地壳的收缩和褶皱而产生的压力和热;(2) 水的作用,水溶解矿物并能使其再堆积;(3) 岩浆的热作用于(变质岩的)原来的岩石。

最常见的变质岩可以说是片麻岩了。它原来的岩石是花岗岩。在收缩和压力作用下,不同层的矿物重新组合。片岩是变质的页岩。schist (片岩)这个词来源于希腊语,意为“分开”,因为片岩可以被一层一层分离。如果层变窄,那么这种岩石便被归入千枚岩,再变窄,就被划入板岩。压力使沥青煤(软煤)变为无烟煤(硬煤)。

有一些大理石是由于石灰岩褶皱受压而形成的。另一些大理岩是因为水渗透了深埋的石灰岩层而产生的。水溶解含石灰的矿物(方解石),并使质点在小的晶体块中重新排列,水还能使石英聚集在砂粒周围,改变许多种砂岩。经过一段时间后使每一砂粒变为晶体,并与其他晶体结合起来。这样,砂岩便变成了石英岩。

如果岩浆侵入先前已形成的岩层,那么,便发生火成变质作用,或接触变质作用。岩浆挤入先前已形成的岩石,对它们加热,产生蒸气,蒸气的喷射,溶解某些矿物,又使另一些矿物堆积起来。这样,页岩便变成了角页岩,这是一种暗色岩石,像燧石或像细粒玄武岩。

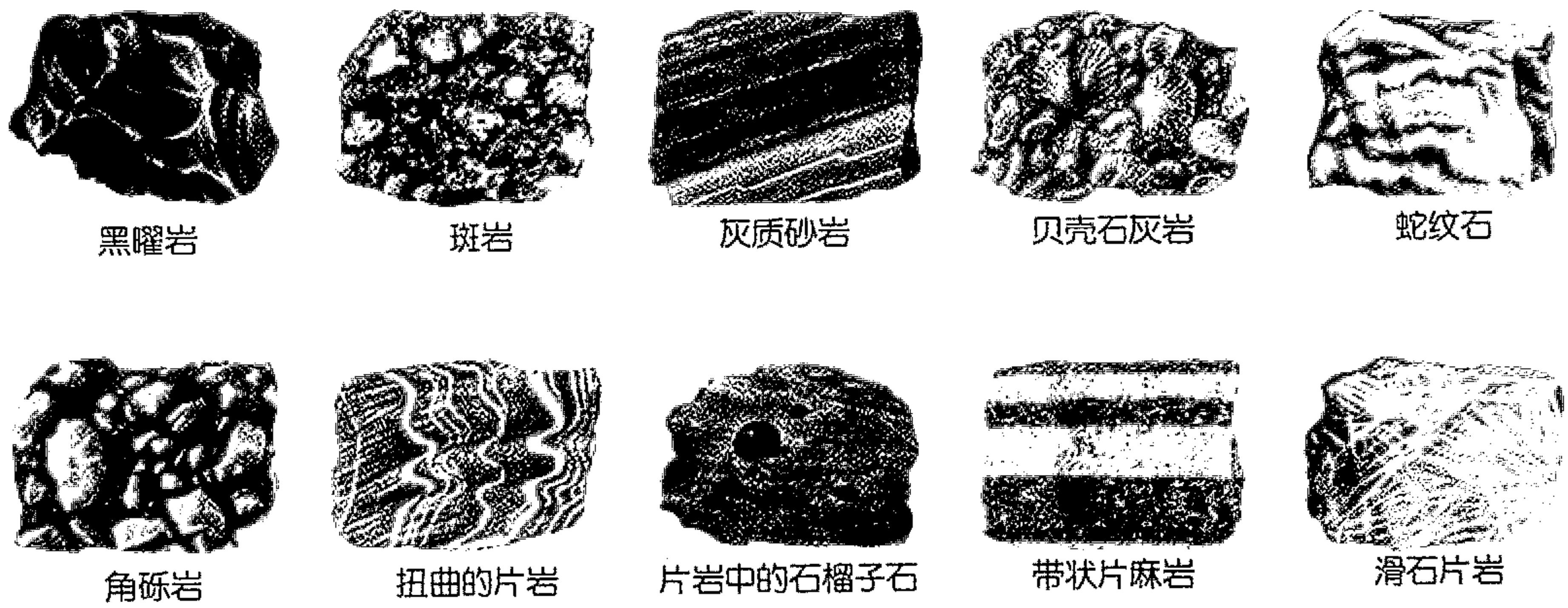
集藏岩石标本的业余爱好

岩石和矿物标本的采集是花钱不多、值得费时间的一项业余爱好。可把野外实习同室内研究结合起来。学习鉴定岩石中的矿物和化石可使这种业余爱好者在下列学科得益,如化学、物理学、地质学、自然地理学或古生物学。

岩石标本爱好者自称他们是采集奇石成癖的人。配置一套花钱不多的小装备,准备一本采集指南和一个标本箱,采集工作就准备就绪了。

岩石和矿物标本几乎到处都可采到,如采石场、矿山、筑路工地、建筑坑、海滩、河床、岩石露头和峭壁。大部分采集奇石成癖的人采集很用心,他们总是尽力想把 1 500 种已知的矿物都采到手。彩色和形状美丽的晶体总是受到采集者的赞赏。石化木和化石是有趣的标本。

半珍贵的石头标本的采集,可能促使岩石和矿物爱好者去琢磨加工这些石头,例如玛瑙、锆石、石榴子石和紫晶等,把它们制成宝石。采集标本的这个方面的倾向,已经成为主要的业余爱好。



采集岩石和矿物成癖的人在发现这些彩色石块时很高兴。黑曜岩和斑岩是火成岩;石灰岩、砂岩和角砾岩是沉积岩;片岩和片麻岩是变质岩;蛇纹石是一种普通矿物,由硅酸镁热液蚀变结果而形成。

有些标本采集者用荧光矿物作了表演展出。在通常的光线下,标本呈现的颜色是暗淡无光的,不美的,不吸引人的,而在展览的暗室中,在紫光中,这些展出的标本闪闪发光,色彩夺目。价格不高的氩电灯泡,可以用来做标本箱的饰灯。

许多奇石爱好者聚会在矿物或宝石联合会中。地方的和州的联合会归属于全国六个区域联合会中的一个联合会。这些联合会,依次隶属于全美矿物协会。一个地方的或州的自然历史博物馆可以同最近的联合会对话。这些组织可以保持通话,商谈标本的个人展览,交换标本,讨论他们业余爱好中的各种问题。

标本鉴定试验

有一些简单的试验往往能帮助矿物爱好者鉴定收集到的标本。一块矿物的颜色不总是提供可靠的鉴定线索。例如，杂质会反映出某种颜色。纯石英是无色的，但是，石英却呈现出多种颜色。孔雀石是绿色的，而蓝铜矿的蓝色却是这种矿物的典型色。

刻条痕测色是把矿物块放在白色的未上釉的瓷片上进行的磨擦。瓷片的粗糙表面，把矿物块的边角磨出粉来。矿物粉的颜色随所磨的石块不同而异。

光泽是另一种能观察到的特性。标本是金属的，还是非金属的？非金属矿物能呈现出玻璃状、油脂状、绢丝状或珍珠状。

解理测定是鉴定某种矿物在平面上的分离状态。解理与矿物的晶体结构有关。例如，云母能分离成薄片状。岩盐（盐）和方铅矿能分成立方体。萤石有 8 面解理，闪锌矿有 12 面解理。有些矿物能断裂成明显的裂块，称断口。

每一种矿物有自己的独特的比重，或密度。比重的测定办法是，先称出矿物样品的重量，然后把样品悬于水中。矿物样品称出的重量除以同体水的重量，得出结果便是比重。

硬度测定是另一种鉴定。摩斯矿物硬度计，由软到硬分为 10 级：(1) 滑石、(2) 石膏、(3) 方解石、(4) 萤石、(5) 磷灰石、(6) 正长石、(7) 石英、(8) 黄玉、(9) 刚玉、(10) 金刚石。

硬度级别较高的矿物能够划破比它级别低的矿物或级别相等的矿物。例如，金刚石能划破所有的矿物。如果，一种矿物能划破磷灰石，但不能划破正长石，那么这种矿物的硬度便在(5)、(6)之间。

这些成套的矿物标本，除金刚石外，都不贵，都可买到。岩石矿物标本爱好者大概是得不到比石英更硬的矿物，但是，只要手边备一份上述矿物硬度表，就可进行鉴定。人的指甲（硬度为 2.5）能划破滑石和石膏。方解石能被铜硬币（硬度为 3）划破。萤石用小刀（硬度为 5.5）可以刻破，但是用硬币刻不破。石英可以划破玻璃（硬度为 5.5）。锉刀（硬度为 6.5）勉强能刻破石英，但再硬一点的矿物就刻不破了。

熔岩和岩浆　LAVA AND MAGMA

位于地表以下深处熔融的，或热液化的岩石称岩浆。当火山喷发或当地球中产生深断裂时，岩浆就上升到地表并溢流。当岩浆流出火山或断裂时，一般含有水蒸气和其他气体，这就叫做熔岩。刚喷出的熔岩温度达 700℃－1 200℃，当它流动时，由红热到白热。（参见：岩石；火山）

一个大火山喷发产生的大量熔岩足以淹没整个村落。1887 年夏威夷冒纳罗亚火山喷发期间约有每小时 250 万吨熔岩流向地表，持续了 6 天多。

有些熔岩很稀，每小时能顺山坡流 55 千米。有些熔岩每天只能流几个到二十几个厘米。熔岩的流速决定于温度和成分。

所有熔岩的硅石含量百分比都很大，它由氧和硅元素构成氧化硅化合物。硅石含量为 65%－75%的熔岩称流纹岩；硅石含量为 50%－65%的称安山岩；少于 50%的称玄武岩。（见：玄武岩）

流纹岩在较低的温度下就会熔化，与玄武岩相比，它的密度较小，颜色较浅。流纹质熔岩相当黏或相当稠，含大量气体。气体常常飞腾，爆炸，排出大量发光的火山灰和火山渣。但是，有时气体释放比较缓慢，有时甚至当熔岩冷却变硬，而气体变成包体被包在岩石之中。如果气泡很小，而且被包裹得很紧，这样，就形成一种分量轻的石头，叫做浮岩。一切熔岩都可转变为浮岩，但它的大部分是由流纹岩变成的。

浮石在商业上用于木材、金属和其他物体表面的清洗和磨研。近年，浮石还被用于预制砖石、浇混凝土、绝缘、隔声砖和灰泥。流纹质浮石是白色的。安山质岩浮岩一般是黄色或棕色。玄武质浮岩是黑色的。商业上市的普通浮石产于加那利群岛、冰岛、意大利、匈牙利、希腊、新西兰和德国。在美国，浮石产于落基山脉、西部沿岸和夏威夷。

安山岩是按安第斯山脉命名的。所有火山地区附近都可发现，是火山岩的一个大类。安山岩有三个基本类型：含石英的安山岩（称英安岩）；角闪安山岩和黑云母安山岩，富含长石；辉石安山岩，这是最普通的安山岩。

玄武质熔岩喷发可产生两种不同的熔岩流。这两种熔岩流都以一个夏威夷的名字命名为：*aa*（块熔岩）和 *pahoehoe*（绳熔岩）。块熔岩流运动缓慢，上面覆盖着坚硬的火山渣岩石。绳熔岩流是一种浓的熔岩流，含有比较多的气体，约在 1 100℃温度下喷发。在熔岩流的面上形成一层柔韧的玻璃质的表皮，护盖着下面的熔岩，使它能保持熔融状态达几周，甚至几年。

火山和深裂缝也能促使熔岩在海底喷发（和在大陆一样）。许多岛屿是火山喷发造成的，熔岩流使火山岛一层一层地升高，直到升出海面。夏威夷群岛就是这样形成的。1963 年冰岛附近的苏尔特希岛也是这样形成的。

玄武岩　BASALT

玄武岩是地球上最丰富的岩类之一。它是由某一种熔岩冷却形成的火成岩。熔岩冷却，然后硬化变成细粒的结晶岩（见：**熔岩和岩浆**）。basalt 这个词，已被证实来自古埃塞俄比亚语 basal 一词，意为："从其中可以得到铁的岩石。"有人推想，玄武岩是在埃塞俄比亚首次发现的。

玄武岩是深灰色或黑色岩石，比大多数别的火山岩的密度大。比起其他一般火山岩来，如流纹岩，玄武岩的硅石含量较低，铁和镁的含量较高。它的主要矿物有长石、辉石、橄榄石和氧化铁。虽然，几乎所有的玄武质岩石是晶质的，但是在某些场合，即当熔岩冷却快速时，它是玻璃状的。由于玄武岩密度高、坚固，常被用于筑路和建筑物的构件。

世界各地都有玄武岩发现。由火山喷出的、构成大洋岛屿的熔岩是玄武质火山岩。例如，夏威夷的冒纳罗亚盾状大火山是由玄武质熔岩流形成的。

玄武岩不仅构成了大洋的主要火山岩，在大陆上也有

它的分布。在美国的哥伦比亚，华盛顿的斯纳克河地区，在俄勒冈和爱达荷，几千平方千米范围内都有玄武岩覆盖。这么巨大体积的熔岩，从地壳内的裂隙或裂缝中流出来。在印度和巴西也有此类规模巨大的玄武岩高原。许多现代火山，像冰岛的海克拉火山、意大利的埃塔纳火山也喷发玄武质熔岩。（见：火山）

当液态熔岩冷却，缓慢而且平稳地流动时，新硬结的物质收缩起来，产生裂缝，形成多面的柱体。这种柱体的著名例子在苏格兰沿岸斯大费岛上的芬加尔岩洞中和在爱尔兰安特里姆县的巨人堤道边都可见到。在美国纽约哈得孙河沿岸岩壁上和加利福尼亚的约塞米蒂国家公园附近的德文波斯特彼尔，也有类似的柱状岩体。

花岗岩 GRANITE

如果一块花岗岩被压碎成为粉末，那么，它的物质或者说矿物的细小碎片很容易被拾起来。其中有一种矿物是石英。石英颗粒常常像烟玻璃。另一种矿物是长石，在砂质沉积物中，长石是一种极为丰富的矿物，仅次于石英。在这碎片物质中，还有云母，云母是一种平的薄片，像小镜子能反光。

花岗岩的颜色决定于它所含的不同矿物的比例和种类。绝大多数花岗岩是灰色的。如果暗色矿物量大，则花岗岩呈深色，如果暗色矿物量小，则呈浅色。略呈绿色、桃色和蓝色是各种长石引起的。

花岗岩是地壳中最常见的火成岩。它是很久以前在岩浆（融熔的岩石）冷却时生成的。冷却作用是在地表以下进行的，冷却作用进行得很慢，可以产生晶体。在地质历史的各个时代都有花岗岩形成。一般是在山脉中生成的，在生成花岗岩的同时形成各种矿石。但是，在平原上也生成花岗岩，这些平原在过去的某一地质时代，曾经是山地，但是，后来渐渐被破坏而变成平原。

花岗岩是一种很硬的岩石，但是与其他岩石一样，可以把它破碎、加工。由于花岗岩很坚硬，不易加工，所以是一种价格很高的建筑石材。主要切成特殊尺寸的石块，用于铺筑、镶边、做石碑和大建筑物。

石灰岩 LIMESTONE

没有化学和显微镜的帮助，大概无法接受这样一个事实，即石灰岩是由海贝壳和海珊瑚形成的。可是，化学证明，贝壳和珊瑚之所以这样坚硬是由于碳酸钙（$CaCO_3$），即常常所说的“石灰钙”。石灰岩主要也是碳酸钙。显微镜也揭示，在石灰岩中有形成它的动物残体。

石灰岩是沉积岩，它是由大洋中贝壳和其他石灰质物质形成的；在地质历史上，现在石灰岩的分布地区，曾是一片汪洋。在美国，比较典型的这种地区是现在的落基山脉、密西西比峡谷、俄亥俄和劳伦斯河谷，还有得克萨斯的很大一部分地区。

石灰岩有许多重要的用途。它是石灰的主要来源。它被用于制造波特兰水泥，用于冶炼铁和铅。石灰岩是一种重要的建筑材料。

石灰岩比砂岩容易加工，比花岗岩容易造形，它能从几乎是白色老化到美丽的灰色。印第安纳州劳伦斯、门罗和欧文等县所产的鲕状石灰岩是特别优质的建筑石材。这种石灰岩的结构犹如鱼卵，鲕状石灰岩因此得名，（英文中鲕状石灰岩写作 Oolitic limestone，Oolitic 这个词源自希腊语 oion，意为卵）。英国的贝德福德是石灰岩重要的产地。

压碎的石灰岩用于铺路。农场主利用磨碎的石灰岩来改善土壤；石灰岩能中和土壤中的酸，这些酸破坏植物所需的钙和其他盐类。如果在土壤中有石灰岩基底，就会自然产生这种抗酸作用。

钙华石灰岩和石灰华是由热水沉淀出的碳酸钙组成的。岩洞中的石钟乳和石笋也是因这种水的作用而形成的。石灰岩上往往布满孔洞，这是因为水和碳酸气溶解石灰岩的结果。白垩是一种质地软的、白色的石灰岩，它由有孔虫的壳组成。大理岩是一种变了质的，或者说已有转变的石灰岩，它是由于压力也可能由于热而结晶化的。

斑脱岩 BENTONITE

斑脱岩是一种软岩石，主要由黏土矿物——蒙脱石组成。蒙脱石是一种含水的硅酸铝并含一些其他元素如镁和铁。斑脱岩是由古火山地区的火山灰形成的，在美国的怀俄明和在本通堡的页岩中都有发现。

斑脱岩手触润滑，呈灰色。蒙脱石含有钠，能吸水，它膨胀时体积比它干燥时的体积约大 20 倍。含钙的亚斑脱岩不膨胀。

美国是世界上斑脱岩的最大产地。斑脱岩主要是作为黏合剂，用于金属的铸造翻砂、铁矿石的团化和油井钻进中；也在制作陶瓷、纸张、胶黏剂和肥皂中用做配料。

矿物 MINERALS

矿物是植物、人类和动物的生命必需品。植物从土壤中得到矿物。人类从蔬菜、水果、牛奶、蛋类和食植物的动物的肉类中得到矿物。工业同样取决于矿物的充分供应。

矿物学这门科学是研究矿物这一天然物质的。矿物构成地球上的岩石、黏土、沙及其类似的物质（见：岩石；沙）。矿物学也研究矿物的物理和化学特性、矿物的形状和各种不同矿物的鉴定方法。

矿物必须是无机（无生命）物质，必须具有可用化学公式表达的成分。矿物的成分可以是金属的，也可以是非金属的。多数矿物有晶体结构。（见：**晶体；化学**）

根据上述定义，琥珀、煤、石油和天然气不是真正的矿物。这些物质是从有机物质形成的，即是地球上过去生存的动物或植物形成的。

人们今天开采的那些重要的金属和非金属矿床是在过去很长的地质时期堆积成的，它们是风化作用和侵蚀作用这样一些自然现象作用的结果。另外一些促进矿物在地球内富集的过程是沉积作用、沉淀作用和水体的蒸发作用，还有地下水的循环作用。

矿物鉴定

英语中一般以-ite 结尾的大多数词是矿物名称，是一种

速记或它的历史的速写。有一些矿物是以矿物的发现人的名字命名的；有的是以首次发现的产地地名命名的；还有一些是以矿物特有的明显的物理或化学特性命名的。

矿物学家根据矿物的一些重要特性来鉴定矿物。这些特性包括：颜色、硬度和解理。辨认矿物另外一些办法是根据弹性和强度、比重、放射性以及热、电、磁等方面的特性。比较凉的矿物的发光有时能很快地使人察觉它是某种矿物，一些铀矿就是这样。

关于颜色方面的特性有：透明度、光泽、变彩或者说内部或外部颜色的呈现。还有一种是条痕，它是一块矿物在无釉的瓷板上划擦所留下的颜色。

矿物的硬度一般是以摩氏硬度表来表述的。有10种标准矿物组成这个硬度表。它们的排列是从最软到最硬。这10种矿物是：① 滑石、② 石膏、③ 方解石、④ 萤石、⑤ 磷灰石、⑥ 正长石、⑦ 石英、⑧ 黄玉、⑨ 刚玉、⑩ 金刚石。如果，有一种矿物能刻破正长石，而它又可被石英刻破，那么这种矿物的硬度便是6－7摩氏硬度。

矿物的解理是由矿物的晶体形状确定的，晶体形状确定了矿物分离或破裂的方法，还确定了矿物的许多其他特性。例如，云母能分离成平平的薄片（关于晶系的描述，请参见下表）。

矿物的晶系

矿物学家利用晶体形状作为矿物分类和矿物鉴定的依据。晶系是以每一个晶体中存在的3个或更多的晶轴系列为基础的。晶系是根据晶轴的长度和方向来区分的。晶系的区分如下。

六方晶系　3个轴等长，在同一平面上，环绕中心的空间相同。第4个轴与其他3个轴的平面成直角。其典型的形态是一个六面棱柱体。典型的矿物是石英。

等轴晶系　3个轴等长，互成直角。其典型形状是一个立方体。典型矿物是方铅矿。

单斜晶系　2个轴互成直角，长度不等。第3个轴与其他2个轴的平面相斜交，长度不等。其典型的形状是顶面和基底倾斜于边的棱柱，像一块变了形的砖。典型的矿物是正长石。

斜方晶系　3个轴互为直角，每个轴长度不同。其典型形状是一个3面尺寸不同的砖状柱体。典型的矿物是硫。

四方晶系　2个直角轴长度相等；第3个轴比其他2个轴长或短。其典型的形状是一个方柱体，像一段方柱。典型的矿物是锆石。

三斜晶系　3个轴不等长，互相斜交。典型的形状是上下都是斜面的砖。典型的矿物是钠长石。

矿物的大类

矿物根据其成分被分成大类。(1) 天然元素、(2) 硫化物、(3) 硫盐、(4) 氧化物和氢氧化物、(5) 卤化物和硼酸盐、(6) 碳酸盐、(7) 硝酸盐和碘酸盐、(8) 磷酸盐、钒酸盐和砷酸盐、(9) 硫酸盐、(10) 钨酸盐和钼酸盐、(11) 硅酸盐。

约有1 500种矿物已由矿物学家鉴定出来，其中约200种被认定为普通矿物，有30种常见的被定为造岩矿物。

天然元素

大多数矿物由两种或更多的元素组成。但有少数几种矿物只由一种元素组成。天然金属中蕴藏量最丰富的是金、银、铜和铂。天然铁在陨石中有，但在地球上铁与其他元素化合。（参见：铁；流星和陨石）

汞、铅、锡和锌也发现有天然金属，或非化合物。碳有两种天然元素形式即石墨和金刚石。最普通的非金属天然元素是硫。

硫化物矿物

硫化物矿物包括大多数可以提取金属的金属矿物。例如，铅硫化物形成矿物——方铅矿；银硫化物形成银辉矿；锌硫化物形成闪锌矿。上述这些矿物往往作为矿产被一起发现。

两种重要的砷硫化物是雄黄和雌黄。锑硫化物叫辉锑矿。锑与铅熔合可铸成活字金属用于印刷。辰砂是一种汞硫化物。钼是一种用于炼钢的金属，它是从辉钼矿中提炼的，辉钼矿是金属硫化物。

另外，还有三种化学成分差别不大的铁硫化物，它们是黄铁矿、白铁矿和磁黄铁矿。黄铁矿是著名的"愚人金"，因为它的闪闪发光的金黄色光泽酷似天然金。

铜硫化物矿物有辉铜矿和铜蓝。许多矿体由含有铜和铁的硫化物组成。这些矿体中含有斑铜矿和黄铜矿。

称为硫盐大类的一群矿物同硫化物相似。硫盐矿物由硫，加上金属铜、铅或银组成，并与砷、锑或铋相结合。硫砷铜矿就是一个例子，这是一种铜砷硫化合物。

氧化物和氢氧化物矿物

氧化物矿物大类中包括氧化硅石英，即硅氧。石英是一种最普通的矿物，许多地方都有，存在形式各异。石英的次等宝石有紫金、虎眼、玛瑙和条纹玛瑙。硅质泉华或硅华是一种由温泉沉积的不纯石英，是一种蛋白石。火蛋白石内部有一种由橘黄到红的彩虹色。硅藻土是由硅藻的硅质贝壳沉积物形成的，硅藻是淡水和海水中生存的显微植物。硅藻土的粉状物质用来制造绝缘材料和过滤材料，也用于研磨业和擦洗业。硅氧化物中另一大宗就是鳞石英。

在金属氧化物矿物中还有赤铜矿或氧化铜、红锌矿或氧化锌、锡石或氧化锡和金红石或氧化钛。软锰矿或氧化锰是主要的锰矿。氧化铁矿有赤铁矿和磁铁矿。磁石是一种磁铁矿，它是天然磁铁。钛铁矿是铁和钛的混合氧化物，分布广泛。钛铁矿是涂料、颜料和合金纯化剂钛的主要来源。

刚玉和另一种混合矿物即铝土矿，是矿物学中著名的氧化铝，刚玉以透明的、彩色的两种宝石形式存在，即蓝宝石和红宝石。刚玉砂，一种黑色粒状的刚玉与铁矿物混合，压碎后用做磨料。尖晶石是镁和铝氧化物的混合矿物，铬

铁矿是铁和铬的氧化物，形成重要的铬铁矿。铬是不锈钢的主要组分。

晶质铀矿、钒钾铀矿和钙铀云母是主要的放射性矿物，它们是镭、钍和铀元素的来源。这些矿物都是放射性元素和其他元素的氧化物，一般都含铅（见：**镭**；**放射性**）。沥青铀矿是晶质铀矿的一种混合矿物，矿物的放射性是首先在这一铀矿物中发现的。（见：**核能**）

氢氧化物矿物是低温矿物，是典型的溶液蚀变或热液作用的产物。在氢氧化物矿物中有铝土矿、褐铁矿等铝矿和含水氧化铁矿。

卤化物和硼酸盐矿物

卤化物溶于水，这类矿物比较少，但是，有些卤化物矿物富集成有商业价值的矿。卤化物矿物中最突出的是氯化钠，或称食盐。作为卤化物矿物，盐是大家都知道的。

称为钾石盐的氯化钾是一种最重要的矿物，它是在德国东部的一个著名的矿山施塔斯富特被发现的。钾石盐矿是世界上制造商品肥料用的钾的重要的来源。施塔斯富特矿的其他主要矿物有光卤石，它是含水的氯化镁和氯化钾；还有钾盐镁矾，它含有含水的氯化钾和硫酸镁。

萤石由氟化钙组成。在冶炼过程中萤石用做助熔剂。无色透明的萤石晶体可做紫外线的透镜，价格昂贵。冰晶石是氟化铝和氟化钠。

在加利福尼亚西尔莱斯湖有一个大盐矿，这个矿还有数百万吨含钾碱和硼砂（一种含水硼酸钠）的盐水。这里是美国上述矿物的主要产地。其他能提取硼砂的矿物还有贫水硼砂（即另一种含水硼酸钠）和硬硼钙石（即含水硼酸钙）。大部分硼酸盐矿物产于原来由富含火山物质的地下水补给的干湖盆内。

碳酸盐矿物

碳酸盐构成矿物的最大的一个类。这类矿物中最丰富的矿物是方解石或碳酸钙。方解石的透明大晶体称冰洲石。这种化学上纯的透明的方解石能产生光的双折射，可用做偏光显微镜的棱镜并用于其他类似的光学仪器。（见：**光**）

一般说，石灰石含大量的方解石（见：**石灰岩**）。大理石是晶质的，由石灰石变质而成。大理石的各种颜色是由化学混合物和其他矿物的细脉造成的。山洞中的石笋和钟乳石一般是由方解石形成的。

泥灰岩是一种不纯的、尚未完全硬化的石灰岩。白垩是一种软的细粒石灰石，它是在大洋中由小的海生动物壳沉积形成的。

菱镁矿是一种碳酸镁。它常用方解石混合，产生一种氧化钙镁，称白云石或白云质石灰石。孔雀石和蓝铜矿是两种碳酸铜。如果在水中增加蓝铜矿（它是蓝色的）的含量，能使孔雀石（它是绿色的）变成蓝铜矿。孔雀石和蓝铜矿晶体都可作宝石。

碳酸铁作为矿物出现时，便是菱铁矿。在英国有一个较大的作为商业开发的这种铁矿。碳酸锰称菱锰矿，这种矿物一般与其他矿共生，形成脉石矿物。

硝酸盐、碘酸盐和磷酸盐矿物

硝酸盐和碘酸盐矿物在结构上与碳酸盐有关。硝酸钾和硝酸钠作为矿物分别是钾硝石（或硝石）和钠硝石（或智利硝石）。硝酸盐用来制造炸药和肥料。碘酸盐是一种黄色矿物，它比硝酸盐少见。碘酸盐矿物有碘钙石和碘铬钙石。

含磷元素的磷酸盐矿物称磷酸盐。磷灰石富含含氟的磷酸钙。一种不纯的磷灰石叫磷盐岩，用来制造肥料。结构复杂的磷酸盐矿物有独居石，在海滩和河边的沙中可以找到它。独居石是稀土金属铈的来源，铈可用于制造电子装置。宝石绿松石是含水的磷酸铝和磷酸铜。钒酸盐（钒和氧的化合物）和砷酸盐在晶体结构上与磷酸盐相似。

硫酸盐矿物

硫酸盐不溶于水，在化学上与含盐矿物有关。这类矿物包括钡化合物——重晶石、锶矿——天青石、碱性的硫酸铝和硫酸钾——明矾。石膏是一种含水硫酸钙，是熟石膏的原料。石膏的透明晶体称透石膏，碎裂时成薄片。当硫酸钙不含水时，则称硬石膏。杂卤石是含水硫酸钾、硫酸钙和硫酸镁，在德国东部施塔斯富特矿中有这种矿物发现。

商业上经销的芒硝是含水的硫酸钠，是一种天然矿物。泻盐是含水硫酸盐，其矿物是泻利盐。但是，商业上的泻盐是用别的镁质矿物制成的。

钨酸盐和钼酸盐矿物

钨金属用于制造电灯丝、合金钢和磁铁。钨主要由两种矿提取，一种是白钨矿，它是钨酸钙。另一种是黑钨矿，它是锰铁钨酸盐。

钼铅矿是一种钼酸铅，它是铅和钼的小矿。

硅酸盐矿物

硅酸盐矿物是分布最广、数量最多的矿物。它们由硅、氧、钾、钠、镁、铝和其他许多元素结合而成。

长石是硅酸盐矿物中最突出的一类。长石包括正长石（是一种硅酸钾和硅酸铝）、钠长石（含钠，不含钾）和奥长石（除了钠还有钙）。

另一类重要的硅酸盐矿物包括云母。白云母是一种透明的云母，用做电气设备的绝缘材料。它主要是硅酸钾和硅酸铝。白云母薄片用于制作炉门和提灯护罩。

第二类普通云母是黑云母。黑云母含镁和铁。通常为暗绿色、棕色或黑色。还有一种云母叫锂云母，它是一种氟硅酸钾、铝和锂。含锂金属的矿不多，锂云母是这种稀有矿的一种。

辉石族与长石族和云母族相同，拥有一系列的造岩矿物。有两种普通的辉石，一种是透辉石，它是硅酸钙和硅酸镁；另一种是普通辉石，它含一些铁和铝。辉石的一个变种叫锂辉石，是硅酸锂和铝。有时，锂辉石有清楚的、粉色晶体，称紫锂辉石。另一种绿色变种称绿锂辉石。硬玉也是一种辉石，是一种真玉，有时称中国玉。

硅酸盐矿物中，还有一些宝石，如电气石、锆石和黄玉。

绿柱石是提取铍的主要矿石，它是硅酸铝和铍。宝石祖母绿的绿色是因为它含有微量的铬。海蓝宝石是绿柱石的晶体。

与辉石关系密切的、更复杂的硅酸盐矿物，是闪石族矿物。闪石族的一个变种叫角闪石，含铝，可有长的纤维状晶体，形成一种石棉。另一种石棉是蛇纹石的纤维状变种，叫贵橄榄石。它是一种含水的硅酸镁。蛇纹石是商业石棉的主要来源。

成分与蛇纹石相似的是滑石。滑石是滑石粉的原料。皂石或块滑石是滑石的一种不纯的变种。皂石薄片用来制作实验室桌子的桌面。滑石和块滑石是颜料、陶瓷和纸张的配料。

高岭石矿物是含水硅酸盐，有点像滑石，但是，含铝，不含镁。大部分黏土由不纯的高岭石组成，由含长石的岩石经风化而形成。斑脱岩是黏土的一种，由火山灰的分解而形成。

硅酸化的锌包括硅锌矿，硅锌矿用于实验室的试验，因为紫外线使它发出荧光。异极矿是含水硅酸锌，有时用做炼锌的矿石。沸石，如辉沸石是含水硅酸铝、钙和钠碱。这种矿物可用做分子筛，来分离化学制品。

地球的岩石

地质学家把地球上的岩石概略地分为沉积岩、火成岩和变质岩。沉积岩是由砂、泥土和其它物质，通过水、风或冰川的作用而沉积形成的。（见：**岩石**）

火成岩是由火山岩浆或地球内部熔融岩石形成的。变质岩是由原来的沉积岩或火成岩受到热和压力的作用或受到其他的自然作用，改变原来的性质而形成的。（见：**熔岩和岩浆**）

最常见的沉积岩是砂岩和页岩。砂岩的主要矿物是石英。如果砂岩含有较多的长石就称为长石砂岩。页岩主要由黏土矿物如高岭土组成，也有石英和云母。如果，有方解石或霰石存在，那么页岩就被归入石灰岩一类。

砾岩是沉积岩，可以认为它是一种固结了的砾石。冲积物这个术语表示还没有硬固成坚硬岩石的表层沉积物。一种像黏土的冲积物被证实是由冰川堆积成的。黄土这个术语表示可能是冰川时期中（见：**冰期**）由风吹来的尘土沉积而成的细粒物质。

火成岩中一种重要的岩石是花岗岩，它通常由石英晶体长石和其他矿物混合而成。花岗岩是一种最常用的建筑石材。片麻岩是一种最普通的变质岩。它或者是由沉积岩，如砾岩，或者由火成岩，如花岗岩变化而成。片麻岩的成分中有石英、长石、云母或角闪石。

片岩是变质岩中第二位常见的岩石。片岩很明显是页岩在热和压力作用下经不完全再结晶作用而形成的。片岩的主要类型是云母片岩。云母片岩基本成分是石英和白云母或黑云母。

当地球内部的岩浆通过火山或裂缝喷出地表，它便被称为熔岩。熔岩通常分为两类。一类是黑色的、很重的岩石，称玄武岩；另一类是较浅色的，称流纹岩，一般为浅绿色、浅红色或浅灰色的。浮岩是一种多孔的、泡沫状流纹岩，它是在熔融的岩石还含有气泡时形成的。

黑曜岩是一种玻璃质岩石，它是当某一种熔岩在迅速冷却时，矿物个体来不及结晶而形成的。这种岩石通常是黑色的，但也可以是红色、棕色或绿色的。火山物质形成的叫做凝灰岩的岩石含有火山喷发时被抛到空中后落下的黑曜岩和浮岩的碎片。（见：**火山**）

沙 SAND

在海边沙滩上行走时，可以听到脚下发出的一种特别的响声。近年来，有一种所谓音乐沙、歌唱沙或叫喊沙的现象，引起了科学家的兴趣。对于这种沙的一种解释是：这种沙的颗粒大小相等，形状相同。当沙被稍稍充水，每颗沙粒周围形成液体薄膜，沙便开始均匀振动。

沙是矿物或岩石的松散碎屑物。沙粒比砾石小，比淤泥或黏土大，其直径为0.02毫米-2毫米。沙是岩石在水、冰或空气的作用下，被磨蚀或破坏而形成的。

沙堆积在沉积物被搬运和沉积的地方，如沙漠和海滩。干沙被风吹扬。岩石、树株或灌木阻挡一部分被吹扬的沙，形成沙堆，最后，沙堆扩大可变成沙丘。沙丘除非后来被植被覆盖，不然，一般总要移动的。沙丘的运动是通过沙由沙丘的迎风面到背风面的缓缓移动而进行的。沙也产于冲积扇中，这是一种在山谷出口处形成的形状如扇的沉积层。

沙的成分和颜色 地球表面大部分的造岩矿物都可在沙中找到。沙中最普通的成分是石英。这是因为石英为数众多、很硬、几乎不溶于水和抗化学腐蚀（见：**石英**）。沙中的其他成分是长石、钙质物质、铁矿物和火山玻璃。石英沙一般含有少量长石和白云母。赤道上许多岛屿的珊瑚沙是有机成因的钙质沙。夏威夷虽然有大部分海滩含有珊瑚沙，但著名的黑沙滩却来源于被侵蚀的熔岩流。（见：**熔岩和岩浆**）

黄沙、棕沙和红沙含铁。红沙漠上的沙一般为外包氧化铁的石英。在大部分洋底能找到的绿沙矿的绿色是由于其中含有绿泥石，即一种含钾的矿物。有些滨岸和河流的混合沙是金、铂、铀和宝石颗粒。

结构 通过显微镜下沙粒结构的测定，可以查明沙的某些历史情况。沙的结构可以用大小、棱角、形态、表面和分选度来描述。颗粒的大小暗示搬运和沉淀沙粒的介质的动能水平。沙粒的棱角度或圆度表明搬运过程中磨蚀的持续时间。圆粒沙被磨蚀历史久。沙粒可能遭到沙漠上或海岸和湖岸上的风的作用。有棱角的沙粒说明或者它离开产地还不远，或者它在被搬运过程中受到搬运它的介质（如泥石流）的保护。

沙的形态（即它的延长度、扁平度或球度）和沙的表面有时可用于解说沉积环境的历史。另一个结构特性是沙的分选度，即在一个给定的沙矿中沙粒的大小分级。沙的分选表明沙的沉积方式，或者说表明空气流或波动在长时期内均匀和持续的程度。

流沙和砂岩 当沙湿润并在沙中有足够的水充满沙粒间的空隙，如在滨岸沙滩之内，这时，沙就能承荷一个人甚至一辆汽车的重量。但是，如果沙饱含水并且被水搅乱，那么，就一点重量也不能承受，这时，沙便称为流沙。流沙分

布在大江大河的河口低地中，或在平坦的河段和海滩上，那里的水塘中部分淤塞了沙，下垫的硬黏土层或其他致密岩层因不透水而阻碍了水的排泄。

砂岩是一种沉积岩，由沙粒通过天然胶结物固结而成。砂岩中大部分普通沙是石英，也可以有长石和岩屑。砂岩的胶结物可由二氧化硅、碳酸钙、氧化铁、氧化钙或黏土组成。如果石英砂粒同二氧化硅牢固结合，就形成一种硬的致密的岩石，称石英砂岩。（参见：岩石）

沙的利用　沙是泥灰板、灰泥、混凝土和沥青路面的主要组成。用黏土掺沙做成的砖比较坚硬，比光用黏土烧成的砖能承受的重量大。为灌注金属的铸造模子是用砂加黏土黏合剂做成的。

沙也用做净化水的过滤器和研磨料。沙被胶在纸上做成沙纸。通过压缩空气或蒸气把沙吹入软管，沙作为一种喷沙器，用来清洗砖墙或石料建筑物，清除油漆，清洗金属器物。在陶器工业和玻璃工业中，很纯的石英沙被用做氧化硅的原料。炼耐酸钢的平炉炉床衬料要求这种石英砂，因为纯氧化硅是耐热的。

云母　MICA

一块 2.5 厘米厚的云母可以劈成近 1 000 张像薄纸一样的薄片。云母是硅酸盐矿物的一个族名，含铝、氧、硅原子，结合成像书页那样的平层。云母有完全解理，即可以把它劈成完整的柔软的薄片。

云母族的矿物可以是彩色的、黑色的、棕色的、绿色的或紫色的，颜色决定于矿物中的离子。有些矿物材料的矿床含有若干种云母，这种矿床全世界都有。白云母和金云母有许多工业用途。薄片状云母用于电和热的绝缘。小碎片云母称碎片云母或碎屑云母，可以用来制作壁纸、涂料和塑料。印度、巴西和马达加斯加是片状云母的主要产地。美国是碎屑云母的最大产地。

大裂谷　GREAT RIFT VALLEY

大裂谷是地球表面最长的裂缝，是一个漫长的、深陷的凹地，两边是陡峭的城墙般的峭壁，北起亚洲西南部的约旦，向南穿过非洲直到莫桑比克，总长度约为 6 400 千米，平均宽度为 50 千米- 65 千米。这是洋中脊系统在大陆上的延伸，洋中脊总的说来是潜入水中的环绕地球的山脉系统。这个东部非洲的谷地受到的剥蚀很少，所以十分引人注目，它在东非又被称为东非大裂谷。

谷底多低于海平面。地形呈多样化，有湖泊、火山、荒漠和平原。裂谷两边的山地是陡崖，平均高出谷底600 米-900 米。但是在有些地方，例如肯尼亚的毛陡崖，那里的谷壁高出谷底达2 700米，构成裂谷的最惊人的壮丽景观。非洲的许多最高的大山例如乞力马扎罗山、肯尼亚山、玛格丽塔山，都位于大裂谷地段。

大裂谷起于约旦，沿约旦河到死海。它通过亚喀巴湾，随后沿红海进入埃塞俄比亚的达纳基勒洼地。它在接近肯尼亚边境的地方一分为二。东支在鲁道夫湖进入肯尼亚，通过许多湖泊进入坦桑尼亚的纳特龙湖。西支沿着乌干达、卢旺达、布隆迪、坦桑尼亚和扎伊尔诸国的边境南行，其间还通过艾伯特湖、爱德华湖、基伍湖和坦噶尼喀湖。两个分支在坦桑尼亚的鲁夸湖汇合，随后通过马拉维在莫桑比克的索拉达附近抵达印度洋。裂谷系统的多数湖泊都是非常深的。

造成裂谷的主要地质活动可能追溯到上新世，大约在 200 万年到 700 万年以前。然而产生某些断层的活动还是近 10 000 年以内的事。如今人们几乎不知道裂谷生成的早期阶段伴随有火山喷发，但是现在仍有一些火山和地震的活动。关于裂谷的形成，有一种理论认为地壳受巨大的张力先由火山的活动，向上翘起，然后下陷。另外一种理论则主张这是巨大的压缩力使地壳下陷的。

大陆　CONTINENT

主要从大小来看，地球的最显著特征是各个大陆和海洋盆地。平原、高原和山脉是地球固体部分的第二个最显著特征。大陆块及其主要表面特征似乎具有很高程度的永久性，并且是多种力量在若干极长时期内作用的产物。

虽然大陆一词一般指一些庞大而广阔的陆块或本土，例如欧洲大陆，但是它在地球科学中却有明确的意义。在地理学中，“大陆”指约占地球表面 29.2%的某些大的连续性陆块。这些大的陆地区域是：亚洲（陆地的 29.9%）、非洲（20.6%）、北美洲（14.8%）、南美洲（12%）、南极洲（10.5%）、欧洲（7%）和澳大利亚（5.2%）。这些大陆的总面积约为 148 000 000 平方千米，平均海拔约 840 米。大陆中被高山或水体所包围的突出部分，例如格陵兰或印度-巴基斯坦地区则称为次大陆。因为澳大利亚陆块为水所包围并且脱离其他大陆，所以有时称为岛洲。小的大陆，例如马达加斯加或塞舌尔群岛称为微大陆，因为构成它们的地壳与大陆岩石圈或称大陆地壳的厚岩石层相似，因此它们与真正的大洋岛屿十分不同。

各个大陆在地球表面分布不均匀。例如，全部陆地的 65%以上都位于北半球，后者有时称为“陆半球”。南半球真正是一个海域。南半球只有 11%左右高出水面。

陆缘

大陆的定义包含陆缘的水下部分，即大陆架、大陆坡和大陆基。陆缘很大，总长为 350 000 千米。全世界的海洋面积约有 15%位于大陆地壳的沉没边缘之上。某些陆缘在水下延伸到将近 2 000 米的深度。大陆架的宽度在零到1 500 千米之间，平均约 78 千米。大陆坡从大陆架的边缘延伸到约 2 000 米的深度，其中有海底峡谷形成的深沟，这些峡谷成为沉积物从大陆架运走的路径。大陆基位于大陆坡朝海的一侧，这里没有深海沟。

构造和组成

对于模拟地震在地壳中所产生各种压力和张力所做的分析指出，典型的大陆构造包含一系列的地层。大陆和大陆架下面地壳的类型各有独特的岩石和化学性能。虽然大陆地壳的特性尚未完全清楚，但是对于世界不同部分的研究提出，大陆地壳各部分的形成是多种多样的。一般认为，

大陆位于莫霍间断面或称莫霍面之上。这个跃变区位于地震波由每秒 7 千米左右突然变到每秒 7.8 千米左右处。有人认为,这种跃变可能由均质体变为较密集状态所引起。这种称为 M 间断面的深度可由深海下面的 5 千米到安第斯山脉下面的 70 千米,平均深度为 30 千米。还有一种可能由于部分熔融而引起的、地震速度和刚性相对较低的地带,位于莫霍面以下的上地幔中,深 60 千米-250 千米。在此低速带上面的物质总称为岩石圈,意为岩石球面,地壳和莫霍面是它的一部分。(见:地球)

根据化学组成,大陆地壳称为硅铝带,意为富含二氧化硅-氧化铝岩石。与大陆地壳相反,玄武岩类型的海洋地壳称为硅镁带,因为它富含二氧化硅-镁岩石。大陆地壳上层的密度约为每立方厘米 2.7 克,地震波通过它的速度通常小于每秒 7.0 千米。

起源和形成

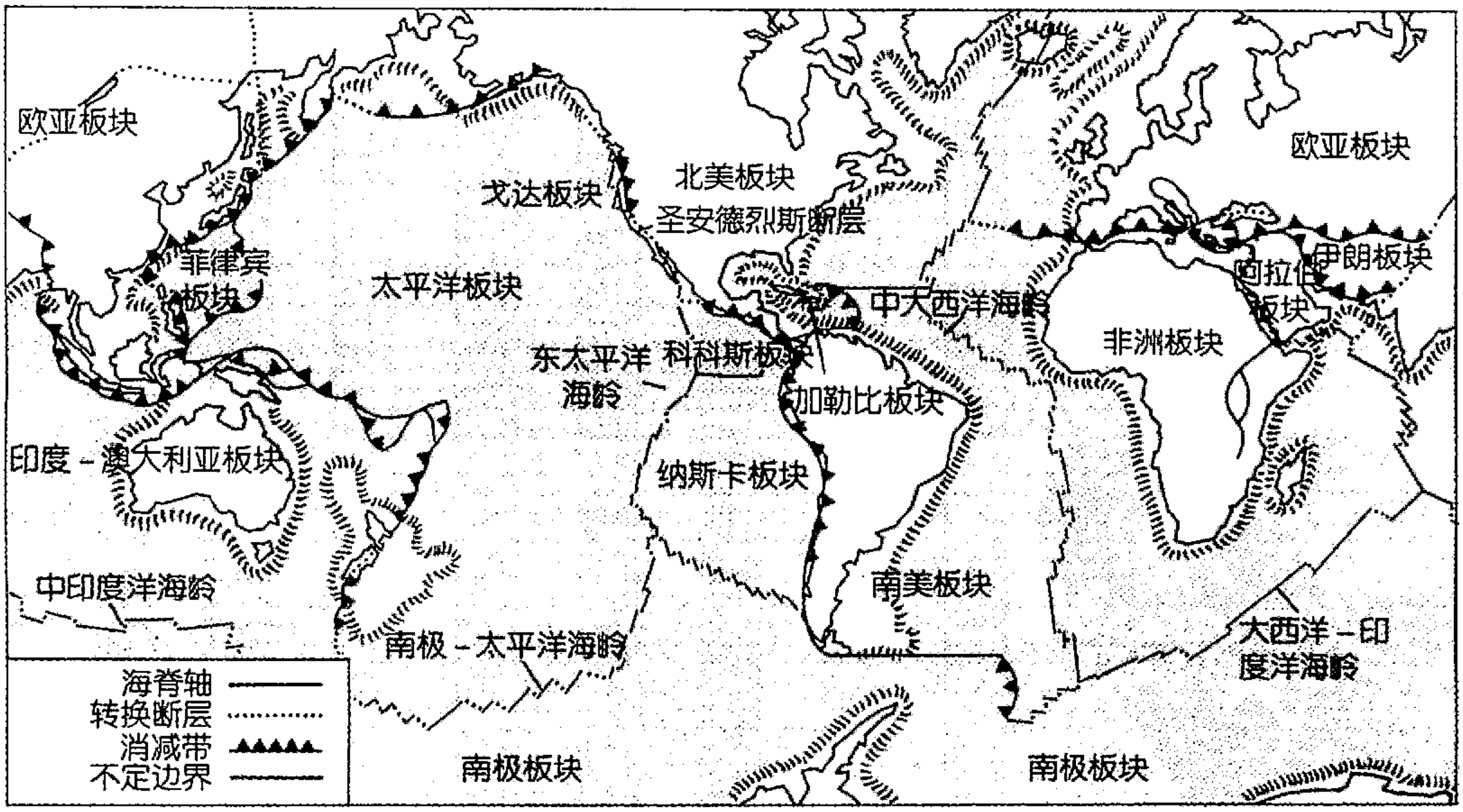
人们认为,大陆地壳起源于一种化学变化,在此变化中由较重、较密的内部,即地幔的火山玄武岩产生出较轻的物质。因为全部地壳仅占现有地幔体积的约 0.01%,所以还有可能形成多得多的地壳。科学家们推测,当地幔化学分解为不同的成分时,相对轻的各要素上升到表面而形成地壳、大气和海水。地壳的大部分很久以前已固化。对于大陆岩石的年代测定表明,大陆地壳约在 39 亿年前,即约在地核与地幔分离 1 亿年后才开始稳定化。

关于热流、地震学和重力勘探的研究共同提出若干不同的地壳区域类型。地盾和平原型地壳又称克拉通地壳,平均厚度为 47 千米—50 千米。山岳型地壳又称"造山"地壳,厚约 33 千米-38 千米,比地盾型薄得多。断块形成的山间高原和沉降带是具有地质断层特征的地壳类型。它们是地壳伸展或扭曲的构造活动带。

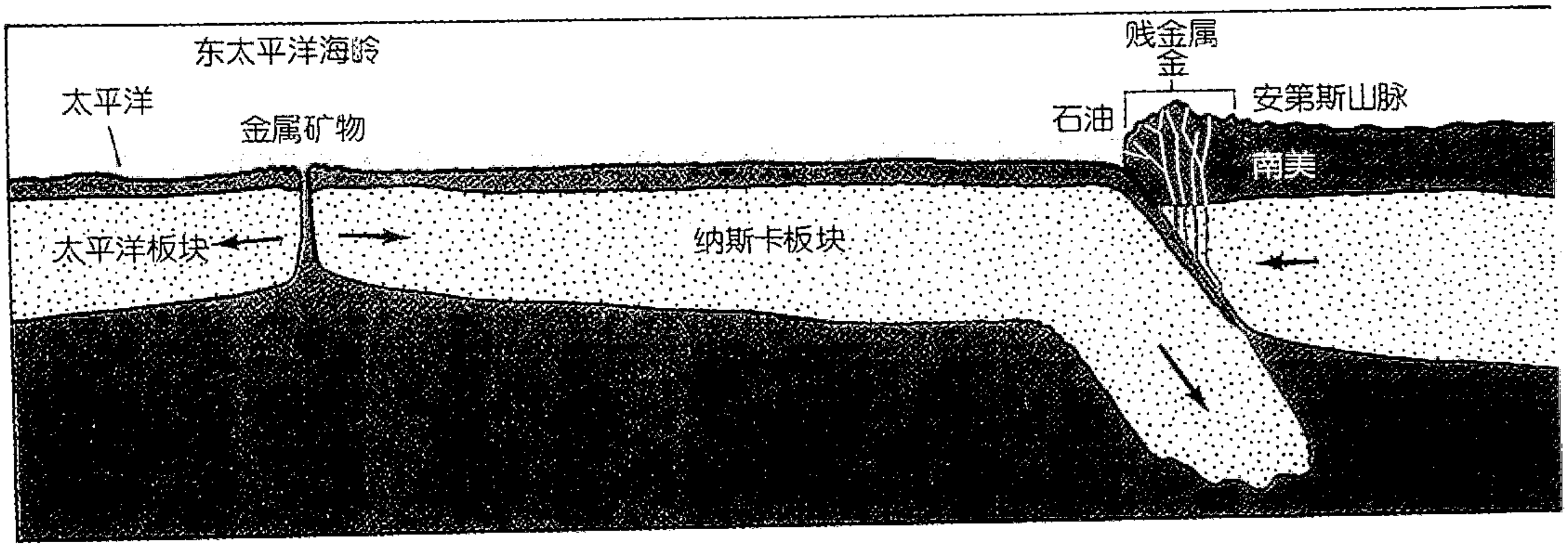
大陆主要特征

每个大陆都是由某些组分所组成,这些组分包括地盾、地台、克拉通内盆地、边缘盆地、山岳带、火山高原和火山带。各大陆相互间的区别,基本上缩减到这些组分在相对大小和比例上的不同。例如,非洲的地盾区域最大,而亚洲则包含较多的褶皱山和火山带。气候带对于各个大陆都有深远的影响,它在风化、侵蚀与沉积、地形、土壤、植被以及人类占有等方面形成相互不同的历史。

克拉通 大陆中最稳定的部分是克拉通(坚稳地块)。大陆的这些古老部分自前寒武纪以来未经过显著的构造变形,前寒武纪终止于约 5.7 亿年前。这些称为太古代基底岩的岩石,包含下伸很远的古代晶质岩石,似乎是构成大陆的主要材料。克拉通在各个大陆中都占较大的部分,具有缓和的地形,接近海平面。它们有时被称为大陆核,其年代可上溯到 2 亿年到 39 亿年以前。地盾区提供一个坚强但不完全刚硬的基础,并且易呈广大的波浪形弯曲。它们大都没有近代的火山和地震活动。大多数地盾是古山岳带被深度侵蚀的根部。较大的地盾区有北美的加拿大地盾;圭亚那地盾、亚马孙地盾和南美的普拉蒂亚地盾;欧洲大陆的波罗的地盾和安加拉地盾;非洲的埃塞俄比亚地盾;印度地盾和澳大利亚地盾。



地壳是若干不断相对运动的庞大而刚硬的板块所组成的一个犬牙交错的复杂物体。这些块板的边界由三种特征形成:海脊轴,在此处的洋中形成新海底;转换断层,两板块在此相互滑过;消减带,两板块在此重叠,一板块滑到另一板块下面。



南回归线附近地球的剖面说明了板块构造学说对于探矿的重要性。海底的金属矿床存在于洋中脊活动过程中的海底。沿着陆缘的盐矿床或河流沉积物促进石油的形成和蕴藏。

地台 覆盖地盾的广大沉积平原称为地台。这些大陆地台与地盾的特征相似，只是由厚约 300 米的沉积物形成一个薄覆盖层。这些平坦或缓慢倾斜的地层在不同的深度垫有基底岩石，后者是在更早的变形过程中固结的。

克拉通内盆地和边缘盆地 地盾或克拉通的广大下挠区域称为克拉通内盆地和边缘盆地。这些盆地常为浅水的大陆湖泊或河流的沉积物或者海相沉积所充填。这些盆地因其水源、天然气、石油、煤、石灰岩和各种蒸发岩，如盐、钾碱和石膏等资源而具有重大经济意义。克拉通内盆地是该克拉通盆地本身内部的椭圆形洼地。

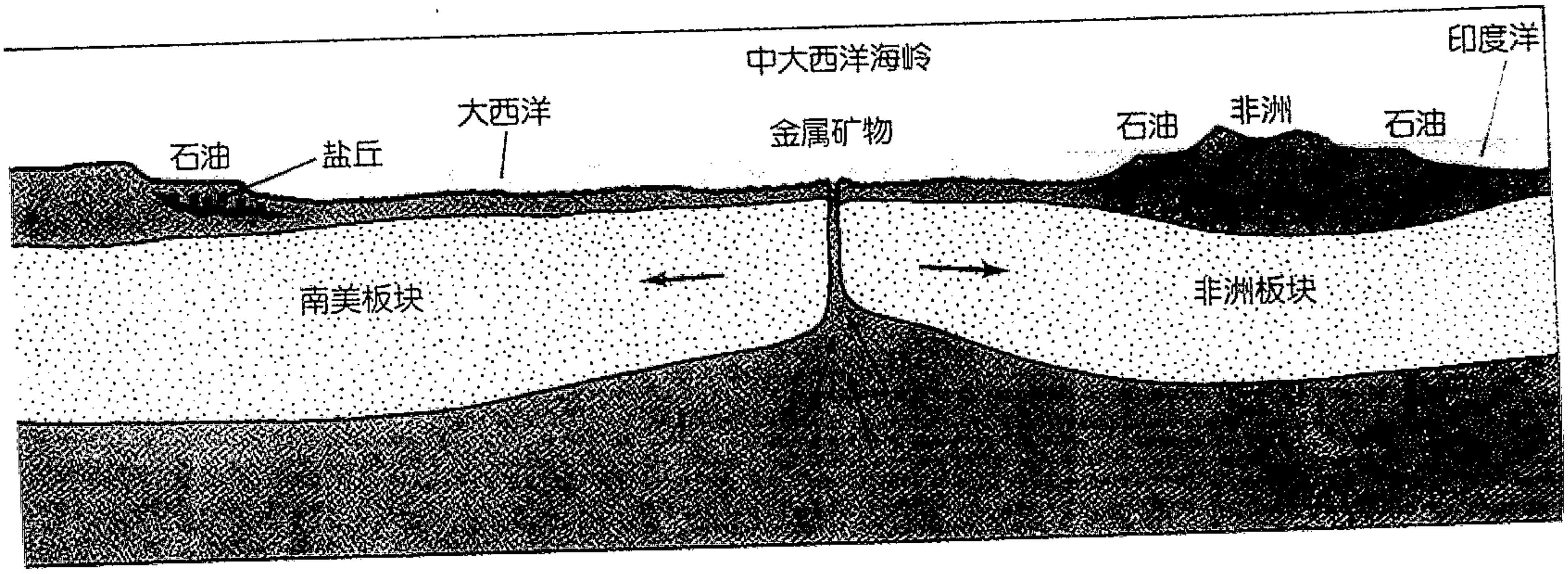
山岳带 山岳带是大陆的最引人注意的特征之一，是一种狭长地带，其特点是复杂的褶皱沉积构造。它们形成于称为造山运动或造山时期的强烈地壳运动时期中，其中包括形成大量的断层和褶皱，结果形成山岳地形。按照板块构造理论框架的解释，山岳的形成似乎是大陆板块演化的结果。山岳的形成有若干途径，其中包括岛弧内陆缘的碰撞和岩浆的隆起。在一个大陆与另一大陆碰撞处，所形成的山岳高大，例如印度半岛与亚洲相撞而形成喜马拉雅山脉。

没有两条山脉相似，但是在不同的山脉中有许多特征重复出现。较年轻的造山带，例如阿尔卑斯山脉的高度甚高，并且山岳的外观粗犷。在高度较低处往往有呈现相当简单褶皱的地带与它们相平行，例如阿巴拉契亚山谷。较老的山岳带倾向于受严重侵蚀而降低成平原或波状高地，例如阿巴拉契亚的皮德蒙特高原。较老山岳带的复杂型式可能是多年的断裂、大陆碰撞及其他过程的结果。还有其他山岳带可被断块作用和上升过程所复活而形成某些特征，例如法国的中央高原、德国的黑森林或怀俄明的落基山脉和科罗拉多高原。

断块带 称为断块带的狭长、有时是金刚石形的地带具有强烈断层作用的标志。这些地带存在于成对的山脉，例如山间高原之间，或者作为横穿大地盾的"裂谷"地带存在。这些强烈断层作用的特征，展示出在大陆地壳内部所发生各类应力的作用。大陆的断裂是岩石圈内各种张力作用的结果。较大断裂带的特征是断层作用和岩浆的上升运动。有些断裂带可能是真正的板块边界，例如非洲裂谷，但是常常与任何板块边界没有密切的关系。

火山高原 有大量玄武岩熔岩流的稍平地区称为火山高原。太平洋西北部的哥伦比亚高原、印度的德干"暗色岩"和非洲的埃塞俄比亚高原都属于火山高原。

火山带 通常为狭窄地带，位于陆缘附近或两大陆之间的下沉"岛弧"中。爆发喷出岩浆的火山形成锥形的中央山。在这类形成物中有许多很著名，例如圣海伦斯火山、胡德山和太平洋西北部的雷尼尔山和日本的富士山。



大陆持续性

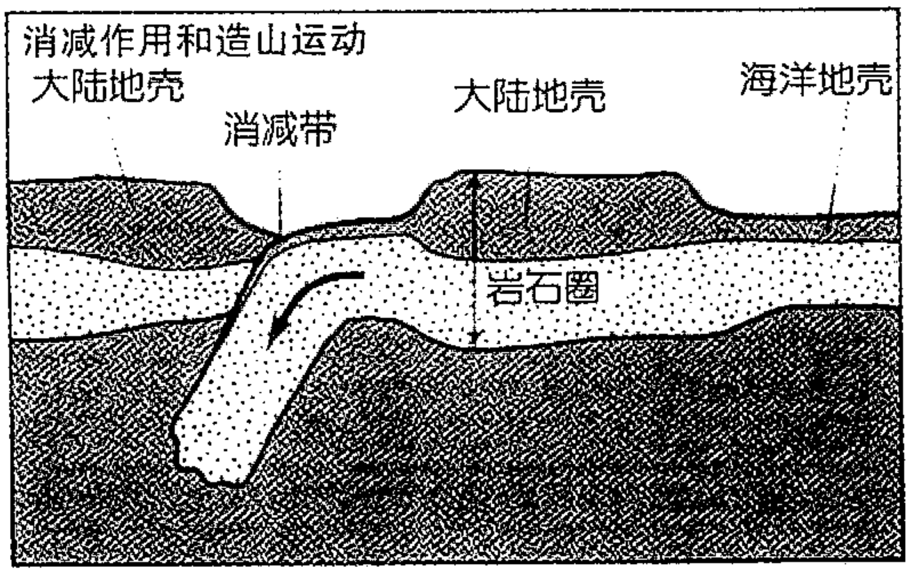
海洋地壳在洋脊处形成，而在一个板块在另一板块下面滑过处的消减带消失。海洋盆地是一种相对年轻的特征，其中的大多数不早于侏罗纪（约始于 1.9 亿年前）。各个大陆中有许多部分很古老——约较海洋盆地老 20 倍左右。

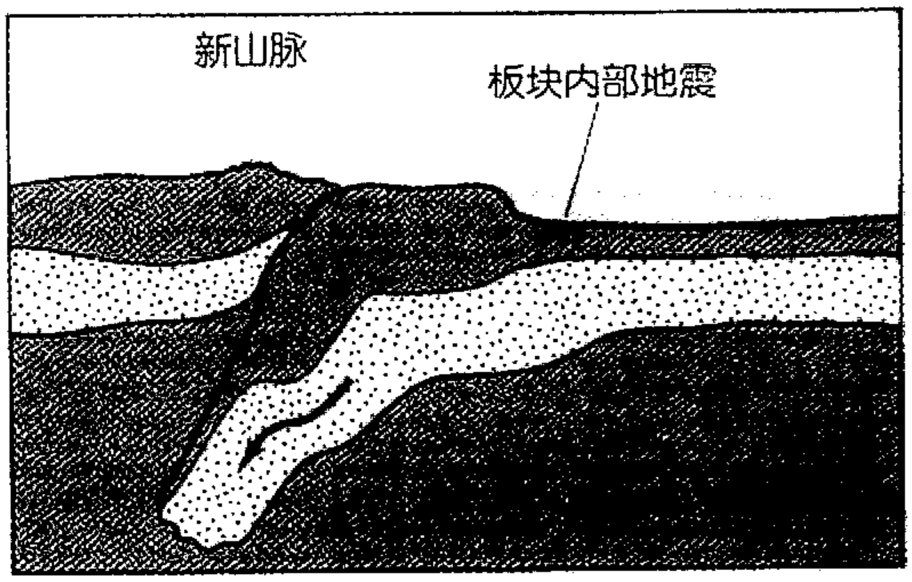
按照称为地壳均衡的原则，地壳中较大而较轻的部分倾向于上升。根据总质量的不同，较薄而较密集的部分，例如海洋盆地则保持在低处。较厚而较不密集的大陆地块则浮起。例如山岳地区，侵蚀倾向于使地壳由上面减薄。这块地壳因质量减小而上升，以保持地壳均衡。

最终，侵蚀与均衡上升达到平衡，除非有新的构造扰动外，不会有进一步的变化，并且山岭地区将会降低为平原，今天暴露的大克拉通之中，有许多是很古老山脉的变平坦的根部。因为高山仅占陆地表面的相当小一部分，地面地壳的平均高度只有 840 米。最高的山通常位于大陆海岸附近，而大面积的低地——克拉通——倾向于位于大陆的中心部分。例如，海平面的升高可引起海岸线位置显著移动，大陆架面积增加和地面大陆面积减少。但是，海平面以上大陆核的总高度似乎保持不变。

大陆漂移

认为各个大陆在地球表面移动的想法由来已久。起初提出这个概念，是为了解释非洲的大西洋海岸与北美和南美的海岸惊人地相似。两大陆边缘几何图形的密切相符，作为大西洋曾经闭合的证据，但未被普遍接受。





大陆地壳的两大板块相互碰撞（左）。在这种碰撞中，下钻的板块因具有浮力而最终停止。极高的内陆山脉，例如喜马拉雅山脉似乎是由于这种碰撞而成的。为了消除各板块相互间的应力，可能在沿着较薄地壳的其他地方形成一个新的消减带。

德国科学家 A. L. 魏格纳等提出大陆漂移假说，即大陆地壳的各大板块在海洋地壳的底上自由移动。认为各个大陆一度是连接在一起的，后来才分开的这种想法，其证据的主要论点是根据古代气候和化石方面的研究、各个大陆几何图形的相符和海洋两侧各地质特征的对应。漂移说的反对者针对证据的各个论点提出反驳，并且取得部分成功，因为该学说缺乏定量的数据。20 世纪 60 年代的进展，提供了定量的数据，支持了大陆漂移说。这些数据指出，这些海底是由海洋断裂系扩张而成。根据这种海底扩张概念，地幔物质上涌并从洋脊处扩张，造成洋底并连带着使大陆块移离洋脊。板块构造概念将大陆漂移假说的可取部分与海底扩张概念结合起来。在这种地球构造理论中，将岩石圈分为许多板块，这些板块遵照扭转刚体定律作水平运动。每个板块都是由大陆地壳和海洋地壳所组成，因此不必假定各板块的边缘与沿陆缘的海岸线相重合。

魏格纳提出，在中生代（始于 2.25 亿年前）以前，这些大陆曾组成一两个地块。魏格纳建议，给他所相信一度存在过的惟一大陆取名泛古陆。两个原始超大陆学说的主要支持者南非地质学家 A. L. 杜托伊特主张，约自 4 亿年前到约 0.65 亿年前的第三纪初，劳亚古陆这个北半球大陆与南半球的冈瓦纳古陆之间由特提斯海隔开。特提斯海是一个庞大的海洋，最终由此耸起阿尔卑斯山脉和喜马拉雅山脉。这种大陆增长与目前存在的地球主要构造特征是互相适应的。

撰文：Charles W. Finkl，Jr.

高原　PLATEAU　高出周围地面，表面平坦，一边或者更多的边是悬崖峭壁或者陡峭的坡面，这样的地区称为高原。高原遍及各个大陆，沿大陆架分布。多数海洋里也有高原，称为海台。大陆高原加上高原围住的盆地约占地球上陆地面积的 45%。

世界上最大的高原包括：非洲大陆、澳大利亚西部高原和阿拉伯半岛。北美洲的高原沿西部山系分布，并出现于阿拉斯加以及阿巴拉契亚高地西部。南美洲有 5 个高原地区：圭亚那高原、巴西高原、巴拉那盆地、巴塔哥尼亚高原以及安第斯高原。欧洲的高原分布在西班牙、阿尔卑斯山北部、斯堪的纳维亚半岛以及俄罗斯西部。在土耳其中部、伊朗、中亚细亚以及青藏高原覆盖的辽阔的地域都有极其壮观的高原。

高原以许多方式发展，而且出现于多种地质构造。熔岩高原是火山喷发出来的玄武岩积聚形成的。典型的以这种方式形成的高原见之于埃塞俄比亚、索马里、美国西部、巴拉那盆地、冰岛以及印度的德干高原。山间高原是山系

里各种地形的高地，在世界上多数大的山系都能见到。喜马拉雅山系的青藏高原是这类地貌中最大的，它覆盖的面积达 140 万平方千米。山间高原分布于世界各地，包括中亚细亚的大部分、中国四川省的一部分、蒙古、安纳托利亚、亚美尼亚以及伊朗。美国和墨西哥把山间高原称为间山盆地地形，它是被长的盆地分隔开的彼此靠得很近的平行的山脉组成的。这种地貌主要见之于美国的内华达山脉和落基山脉之间，以及墨西哥沿西马德雷山脉一带。

冰高原覆盖着格陵兰和南极洲的大部分。在许多地方冰厚达 1 500 米，在海平面下还有沉得很深的基底。这是更新世冰期的残余冰，在那个时期北极地区和近北极地区的大部分，以及部分温带地区都为大陆冰川所覆盖。多数海台出现在沿大洋中脊地带，例如东赤道太平洋的阿尔伯特罗斯海台，或者沿大陆斜坡，例如美国东南岸外的布莱克海台。这些海台比周围的海底至少高出 200 米，上面覆盖着平坦的海底沉积物。

大陆高原容易受风、径流以及冰川的侵蚀和分解。有些时候由于分解进行得十分彻底，原来的高原表层几乎没有剩下什么了。在干旱和半干旱地区例如美国西南部，高原受侵蚀后可能成为一座座孤立的平顶山和小尖山。海拔高的高原往往造成从温和的气候直到类似沙漠气候的各种区域性气候。

山 MOUNTAIN

山是一种地貌，它显著隆起，高出周围的环境。它一般的特征是陡峭的山坡，相对狭小的山顶，以及相当大的高度。山作为一个术语，具有地形学和地质学的含义。一般将高度超过 600 米的高地归入山的范围。

与丘陵相比，山更高，更大。高原的显著特征是表面平坦，山的表面形状则是极其不规则的。大多数山有顶峰，但也有许多山的顶是平的。中国和印度边界的珠穆朗玛峰是世界上最高的山峰，海拔高达 8 848.13 米。

测高法是测量高度或者海拔高度的方法。可以用专为记录随高度变化而变化的大气压力的空盒气压表测量山的高度，也可以用雷达测高术测量高度，或者利用已知点的高度以传统的三角测量法测量。现代的卫星使测量地球上任何遥远的山峰的高度都成为可能。

海底山体通常是火山锥，一般都与洋中脊或者地球上的热点相关。夏威夷岛上的巨大的冒纳罗亚火山是世界上最大的山之一。从洋底计算它的高度是 10 千米，其中露出海面的高度是 4.2 千米——山的基部的直径约为 97 千米。（参见：火山）

山在人类的历史中起了很大的作用。它成了国家之间的政治地理边界和迁移、运输的天然屏障。它也形成了例如喜马拉雅山地西藏和尼泊尔民族所发展的特殊的山地的文化和经济的保护地。经常在山地发现水力资源和矿藏，但是开发的费用往往很大。

许多山，例如美国的华盛顿州、俄勒冈州和加利福尼亚州沿海地带的山地通常都与一定的特殊天气条件相关联。来自太平洋的湿润气团侵入陆地以后被迫抬升在山的上空，然后冷却，在迎风坡发生大雨。这种现象称为地形效应。山的东坡在雨影里，降雨要少得多。焚风和钦诺克风是暖热干燥的风，沿山坡向下行进，时常使雪融化造成雪崩或者使自然景观焦干。（见：天气）

山地分类

在现有的几种山地类型中，多数山地是可以用地质构造术语给它们下定义的。虽然多数山脉具有某些共性，还是可以大致地把山地归为 5 个特定的类型。

穹形山地 是平伏的沉积岩地区岩体翘曲或向上弯曲成为构造穹隆而形成的。它的地形学特征是被切割的相对平坦的表面逐渐向周围的低地或者盆地倾斜。穹形山的基部的直径往往达到几百千米。这一类穹形山还可能是构造穹隆受到侵蚀而产生的。美国南达科他州的布莱克山和英格兰东南部的韦尔德山都是典型的穹形山。

褶曲山地 其特点是大规模的褶皱，这是岩层受到横向的挤压力，同时或者随后又发生隆起的结果。沉积层在火成岩或变质岩的底层上滑动造成褶皱形成简单的褶曲山地。这个过程多少有些类似将铺在地上的地毯推向墙根的时候出现一个大的皱褶。这些褶曲山地往往有平行的直的山谷和山脊。山谷是比较松软的岩体切割形成的，抗侵蚀力比较强的岩体留下来成为山脊。北美的阿巴拉契亚高地，以及作为法国与瑞士的国界的瑞士的汝拉山都是褶曲山地。

有关山的术语

链状山脉 一般术语，指由一系列山脉或山系组成的延伸得很长的许多山脉。

雁列山脉或称科迪勒拉山脉 通常包含几个平行的链状山脉的广大的山脉体系。美洲的科迪勒拉山脉就是雁列山脉，它横跨美国的西部疆域，从南边的南美洲的最南端，一直向北延伸到西北的阿拉斯加。

山系 外形、构造、走向、形成的方式等各方面都类似的一组山脉。例如阿尔卑斯山系、喜马拉雅山系、落基山系。

顶峰 山的山峰之一，是一个突出的山顶，或者是这个山脉的最高点。外形或多或少为圆锥形。也用来指孤立的山或者有一个尖锐的惹人注目的山顶的山，例如科罗拉多的派克斯峰。

山脉 线状延伸的山、山地，或者同属一个地质单位的一长串山。例如加利福尼亚州的内华达山脉。

断块山地 是由地球表面断裂造成的，是一个属于地质断裂运动的过程。如果有两个平行的断层，它们之间的地壳断块可能抬升成为一个地垒式山地，也可能陷落造成一个裂谷。这种陷落的断块称为地堑。断块山地既用来称呼上翘的断块，也可以用来称呼综合断层高地。断块山地在内华达、犹他和亚利桑那等州都有，那里有盆地和山脉的综合景观。抬升的断块可能受到后来发育的岩层剥蚀，剩下残留的地貌如德国的哈茨山和黑林山，以及法国的中央高原。

火山山地 是由熔岩流和一层层称为凝灰岩的固结的

火山灰岩层叠盖造成的。这样的层状火山见于北美西北部太平洋地带和日本。它们是典型的陡峭的火山锥，是围绕火山通道形成的堆积体。锥状山体可能因随后再次发生的火山喷发而改变形态，如华盛顿州的圣海伦斯火山，或者由于岩浆喷出引起的中央通道崩塌而改变形态。由此产生的坑洼称为破火山口。俄勒冈州的马扎马火山和印度尼西亚的喀拉喀托火山都是有破火山口的火山。

高原山地 出现于山脉的褶皱突然进入极少树木的严重侵蚀的玄武岩高原水平地层的场合。但是这种地形实际上是高原受到侵蚀产生的假山，例如纽约州的卡茨基尔山地。高原山地还见于世界上主要的高原地带，例如科罗拉多高原和青藏高原以及南美高原。

造山理论

每一个大陆都包含两种主要的构造单位：地盾和山地。地盾是前寒武纪岩石的核心地块，大陆就是在它的周围积聚起来的。剧烈褶皱和断裂的岩层和火山岩构成的山脉环绕在地盾的周围。山脉是由种种造山过程造成的。18 世纪中叶，人们认为造山运动或者说造山作用包括两个方面，一方面是山体内部岩石的变形，另一方面是出现新的山体地形。当代多数地质学家则认为山体地形是在造山期后形成的。造山运动是褶皱带山地区域内部形成构造的过程，这个过程包括地球表层中的冲断、褶皱和断裂。

人们对诸如亚洲的喜马拉雅山脉和欧洲东南部的阿尔卑斯山脉这些海拔高的地质学上年轻的山脉进行分析研究，从中获得有关山的起源的知识。比较古老、侵蚀较重的山脉，例如北美洲东部的阿巴拉契亚山脉和欧洲西北部的加里东褶皱带，也都提供了造山过程的知识。地质学家认为地球上年轻的山脉带与大地构造有关(见：**地质学**)。上个世纪地质学家提出了地槽学说来说明由沉积结构造成的山脉。根据这种学说，在大的盆地或者地槽中积聚的厚度特别大的沉积受到压缩产生褶皱、断层、变质，最终形成链状山脉。发生在地槽区域的这种压缩造山事件也称为造山运动。

在板块构造的框架内，造山运动主要发生在相互碰撞的板块的边界上(见：**地球**)。表面的沉积物在这些地方发生褶皱，形成褶皱山脉。火山活动开始了，可能形成火山带。美洲板块和纳斯卡板块在沿南美洲太平洋海岸的安第斯山地的互相碰撞，就是这种类型的造山运动的一个例子。大陆与大陆的碰撞可能产生增厚的大陆地壳形成的山脉。大陆与大陆碰撞产生的结果，最好的例子是 2 500 万年以前承载印度的板块撞进亚洲板块开始形成喜马拉雅山系。

根据德国气象学家韦格纳提出的大陆漂移假说，当一块漂移的大陆的前缘一直移到海底发生褶皱的时候形成山脉。通常认为现代板块大地构造学说是这个概念必然的结果。造山运动的动力来自地球的地壳构造变形。

山地气候

山地因为海拔很高而对气候和植被产生种种影响。在纬度相同的地方，海拔高度对气候条件起着重要的作用。海拔高，温度极少超过冰点的地方，那里的雪原和冰川往往与小气候相关联。高地气候昼夜温差很大。山区的降水量典型地大于周围的低地。山的向风坡一般多云雾、雨水也多，温差变化比较小。山的背风坡比较干燥，日照多，温差变化比较大。

森林线或者说树木线是树木生长终止的海拔高度线。它的具体位置取决于温度、土壤、排水和其他一些因素。即使不是因为赤道山地有使气温有所降低的充沛的雨量，赤道附近山脉的森林线也总是比极地附近的山脉的森林线高。美国西部的某些山地有两条森林线：一条是稍低的干燥森林线，另一条是大约比干燥森林线高 600 到 1 200 米的寒冷森林线。在向风坡上靠近森林线的林木通常因为风力强劲生长受阻和扭曲，成为奇形怪状的所谓高山矮曲林。北半球的森林线往往低一些，南坡上的植被可能稠密一些。

对人类生活的影响

山地对于人类来说往往既是财富又是障碍。山地具有防御怀有敌意的邻国入侵的作用。瑞士人在山地环境里兴旺发达，就是因为山地为他们提供了非同寻常的某种程度的政治独立性。瑞士西部和北部边境的高山使这个国家躲过了两次世界大战的军事入侵。然而瑞士人是凭着他们的决心、创造性和惊人的努力，才获得了高标准的生活水平的。山地为人们提供了矿产、木材、水和自然风光等宝贵的资源。有的山坡，例如爪哇、危地马拉和西西里等地火山的山坡，土地异常肥沃，适宜农业。然而，海拔高的地区生长季节短，往往限制农业的发展，只能种植特种作物，例如在海拔稍低些的地方种植茶和咖啡，在海拔高些的地方种植牧草。山地居民还要与雪崩、滑坡、地震以及冰川溃决进行斗争。

山地生活的艰苦，加上低温、缺氧，以及工程的建设和维护的困难，妨碍了许多当代高地城市的发展。美国最高的城市之一，新墨西哥州的圣菲市，海拔 2 132 米，和墨西哥城的高度相近，但是不能与安第斯山脉和西藏的那些更加古老的城市相比。玻利维亚的波托西是世界上最高的城市(3 976 米)。在海拔 5 334 米的高处，大气压力降低到只有海平面的大气压的一半左右。

撰文：Charles W. Finkl, Jr.

峡谷 CANYON

一类由河流冲刷坚硬岩石而形成的边壁陡峭的 V 形河谷，常称为峡谷，英文名源自西班牙文 *cānón*，原意为“管子”。这类河谷常位于河流的上游，其水流猛烈、急速，可相当迅速地冲刷成河谷。外观与此相似的较小河谷称为峡。

最大的最著名的峡谷，是由多雨地区的雨水或融雪汇成的急流冲刷干旱或半干旱的陆地而形成的。谷壁保持陡峭和棱角，因为它们不被频繁的降雨和地面排水所冲蚀。美国的著名峡谷是科罗拉多河、斯纳克河、阿肯色河、格兰德河和黄石河等峡谷。

海底峡谷

在世界许多地区的海底有不少著名的水下峡谷，穿过大陆架，沿大陆坡向下延伸。其中有些与科罗拉多河的大峡谷的规模同样庞大。

这些海底峡谷中有些与现在的河流有关，例如纽约市外的哈德孙峡谷。这些峡谷的前部，是在海平面比现在低数百米时被河流冲刷成的，可能在距今200万与1万年之间的更新世，当时大陆冰盖中所束缚的水量显著地比现在多。峡谷沿大陆坡向下的延伸部分，可能被含有大量悬浮沉积物的深水海流或者聚集在海底峡谷上部的疏松沉积物的突然类似崩落的运动所切断并保持。

谷 VALLEY 和别的地貌一样，河谷经常变动。在河床加深的同时，雨、霜、风，以及大气等其他力量使谷坡上的物质变得疏松。散落下来的物质落进河流随波而去。谷的形态取决于它加深和拓宽的速度。

最初河谷迅速加深。然而一旦河床的水平面接近于它流入的水体的水平面，河水流得越来越慢，河谷加深的过程就停止了。河道里有障碍物的时候，缓慢流动的河水左右摆动，侵蚀谷坡，促进了河谷拓宽的过程。

并不是所有的谷都是河流造成的。典型的河谷是V形谷。还有些以U形为特征的谷，原先是冰川的所在地。硕大的冰体通过的时候，它们切割谷，带走巨砾和巨大数量的碎岩屑。过去有一段时间认为所有的谷都是地球上的大断层，是因为灾变性的地壳构造活动裂开来的。但是以这种方式形成的凹地，虽然人们常常称它们是谷，例如加利福尼亚州的死谷和大峡谷，其实并不是真正的谷。那种非常狭窄的，在坚硬的岩石里蚀刻得非常深的，谷坡十分徒峭，几乎是垂直的谷称为峡谷（见：**峡谷**）。它们可以有几千米深。同一类型的规模小一些的是狭窄的峡谷。这两种类型的峡谷通常都是在扁平岩石层之间蚀刻出来的，但是也能在其他类型的地质状况里发生。（参见：**地球；河流**）

洞穴 CAVE 美国肯塔基州的马默斯洞穴是世界地下奇迹之一。它长560千米，是世界上已知的最长的洞穴。洞顶上挂着冰柱似的巨大的石吊灯（钟乳石），洞底向上生长着石柱和锥形物（石笋）。旅游的人们可以在几个高低的层次上游览，也可以在洞底地下河里乘船短途航行。

世界各地都有洞穴。在美国已经命名和登记在册的洞穴有5 400多个，尚待发现的洞穴可能是这个数的10倍。洞穴分布最密集的地区是肯塔基州的马默斯洞穴周围，新墨西哥州的莱舒吉拉洞穴附近，西弗吉尼亚州和田纳西州的山地以及弗吉尼亚州的谢南多厄峡谷。弗吉尼亚州的卢雷大山洞以其钟乳石的色彩鲜艳夺目闻名。从宾夕法尼亚州到亚拉巴马州这一带有近1 000个大洞穴。

在密苏里州和阿肯色州的欧扎克山区、得克萨斯州中央高原以及西部的山脉，蜂窝似地分布着几百个洞穴。有些洞穴有景观照灯、电梯、楼梯和饭店等设施。马默斯洞穴、卡尔斯巴德洞穴，以及其他一些洞穴已经被列入国家公园系列。

水是怎样造成洞穴的

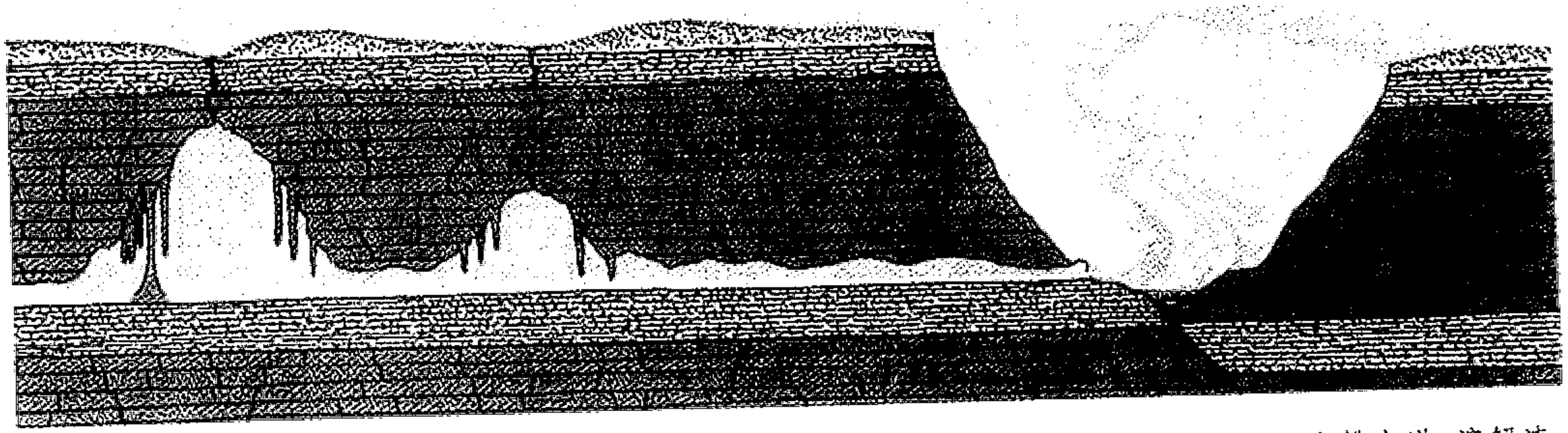
这些著名的洞穴是水的作用在石灰岩上雕刻出来的。水吸收了少量的二氧化碳，并且将它变成碳酸。碳酸能够轻易地溶解石灰岩。

随着时间的推移，在任何一种岩石上都会出现裂隙，地表水会渗进裂隙。如果遇上石灰岩，水和酸使它溶解，裂隙逐渐扩大。如果石灰岩堆积物有深入地下的排水道，水往下渗的速度将更快。最后，扩展开来的裂隙变成一个中空的洞室，或者说一个洞穴。洞窟就是一个大的洞穴，或者一连串的相互连通的洞穴。

洞穴里奇妙的装饰物

洞穴形成以后，地表水继续向下渗透，并且从洞顶滴落下来。落下来的每一滴水都留下很少的一点溶解在水里的石灰岩堆积物（碳酸钙）。堆积物逐渐从洞顶向下延伸，随着时间的推移它成为从洞顶悬挂下来的钟乳石。

水滴跌落到洞穴底部，水花四溅，又留下很少的一点堆积物。这些堆积物渐渐向上堆积成为石笋。往往会出现奇妙的造型。要是水滴沿着洞顶的一条线朝下跌落，有可能形成石帘或者石幔。如果水从洞壁的裂隙渗出来，可能形成石瀑布。



地表水通过裂隙向下渗入石灰岩。水里含有的酸溶解岩石。如果地下一些坚硬的岩石层里有排水道，溶解速度将会加快。最后裂隙变成巨大的地下空洞。这样的空洞称为洞穴，一系列洞穴连接在一起成为洞窟。滴水在许多地方形成了钟乳石和石笋。

地面上通向洞穴的天然洞口称为落水洞，或者石灰岩溶洞。有的时候溪水流进这些洞里不见了，或从洞窟里流走了。河流可能穿过一系列洞穴从一座山流到另外一座山。有的大山洞洞底有一些落水洞。水常常围着落水洞的边缘造起一个碳酸钙的边框。滴下的水里常常含有溶解的矿物质和酸。这些矿物质也将堆积起来；它们可能使堆积物变得色彩斑斓。如果水里的矿物质有了改变，可能形成色彩不同的层次。

海岸洞穴、熔岩洞穴和冰川洞穴

海洋的波浪连续不断地撞击悬崖的岩石底部，在不那么坚固的地方撞开裂隙。随着时间的推移，裂隙变成了隧道，隧道扩大成为海岸洞穴。美国最大的一些海岸洞穴在俄勒冈州海边。在苏格兰西海岸外，赫布里底群岛的斯塔法岛上的芬戈尔洞穴是一个著名的海岸洞穴。洞穴的洞壁是玄武岩石柱。

当火山喷涌出来的熔岩表层急剧冷却，下层炽热的熔融的熔岩流走的时候，形成熔岩洞穴。熔岩里的气窝，或者熔岩下面的冰融化以后流走，也都可能留下洞穴。

冰川洞穴是河水侵蚀冰川下面的隧道形成的。这些水是地表冰融化后穿过冰川隙流下来的。

穴居人

已经存在几百万年之久的大的石灰岩洞穴，给史前人类和动物提供了藏身之地。早期的人类利用一切他们找到的可以保护他们的地方。他们完全依赖自然的保护，因为他们还没有学会建筑房屋或者其他形式的坚固的庇护所。在热带和副热带气候条件下，大树和灌木丛都能很好地保护他们。然而在冬季酷寒的地区，能够提供最好的保护，抵御雨、雪和严寒的还是洞穴。

除了洞口以外，石壁从各个侧面保护着人。他们可以在洞口烧上一堆火，不让凶猛的野兽靠近，也使自己舒服些。如果这个山洞的洞口在山坡上，而且洞口前面只有狭窄的一小块突出的平地，那就更加安全了。

穴居人并不住在这个庇护所的潮湿寒冷的深处，那样会招来病痛。他们住在洞口附近靠近火堆的地方。只有在进行巫术仪式的时候，才鼓起勇气进入洞穴深处。巫医和酋长们在那里施行魔法，例如为了捕猎成功敲打一个野兽的图像。穴居生活使人们倾向于群居。在温暖的气候里，单独的一家人可能凭着水果、鸟蛋和挖掘来的植物的块根得到足够的食物。在寒冷的气候里，冬天是找不到这些食物的。人们必须狩猎，最普通的猎物将是一只动物，它很有力气，能够用爪子刨地，从雪地下挖出自己的食物来。猎人孤身一人，用一根头上削尖的木棍或者石刀是很难杀死这样的猎物的。但是一群猎人就可以围住动物，把它杀死。

北美洲

科学家相信人类先是普遍地分布在亚洲、非洲和欧洲，很久以后才进入北美洲。最早到来的是北美洲和南美洲的印第安人的祖先。他们沿落基山脉向南迁移的时候，将一些东西遗留在洞穴里。这些遗迹对于追踪早期人类的迁移活动，理解他们的生活，有很大的帮助。

大峡谷的陡峭的悬崖向人们显示了人类对洞穴的异常大胆的利用。科学家在这些洞穴里发现了用小的棍棒捆起来的动物形像。显然这是住在峡谷邻近平地上的人从悬崖上爬下来到洞里施行巫术仪式时留下来的。

公元500年前后，印第安人到达北美洲东部森林地带，他们学会了建造用兽皮、树皮覆盖的棚屋，学会了搭帐篷。他们只在寻找矿物，或者保存各种物品免得落入敌手，或者进行巫术活动的时候，才进入洞穴。

人类发展史上的里程碑

我们现在知道的关于现代人类起源的知识，有许多是从洞穴里发现的化石和其他遗迹得到的。中国北京附近的一些洞穴提供了特别有价值的信息。曾经在那里生活的穴居人最早显示出某种高于类人猿水平的进步。他们可能就是还保留一些类人猿面部和形体的一些细节的尼安德特人的祖先。卡尔梅勒山的洞穴和巴勒斯坦其他一些地方的洞穴，也都发现了关于人类起源的证据。

欧洲最早的穴居人是尼安德特人。他们没有什么艺术，他们在制作石器方面也没有什么重大的改进。在他们之后的是克罗马农人。克罗马农人是在第四冰期进入欧洲的。他们被认为是现代人的最早的人种。

克罗马农人是最早创造艺术的。他们不再为巫术的需要制作粗糙的动物画像，而是努力按照动物真实的形像描绘动物。他们的早期文化称为奥瑞纳文化。

在第四冰期的高峰时期，克罗马农人被迫在他们的家——洞穴附近活动。在这一个时期，他们发展了马格达连文化。雕刻在标枪和魔杖上的动物异常精致，栩栩如生。

一些马格达连艺术家生活在西班牙和法国。他们在洞壁和洞顶上刻画一排排动物，填上鲜艳生动的色彩。他们用做颜料的有与动物脂肪混合的赭石、红色氧化铁，以及其他矿物质。

到了更新世冰期的末期，因为冰融化后退了，克罗马农人显然是向北迁移了。欧洲已经没有他们的踪影。取代他们的是从非洲来到西班牙的人。他们有几个文化群，但是常常被归人阿齐尔-塔登努阿文化群。这些人有弓箭和家犬。他们也在洞穴里留下了艺术作品；但是缺乏马格达连文化的形体感和精致的细节。到了更近的时期，洞穴被用来作为寺庙和修行的场所，在印度尤其突出。第二次世界大战期间，洞穴成为防空洞和地下工厂，以及储藏艺术珍品的场所。在大的洞穴的深处，无论冬夏温度不变。它的常温往往与洞穴上面地表的年平均温度一样。

洞穴生物

因为阳光永远照不到远离洞口的地方，那里不能生长绿色植物。然而，在洞穴里，尤其是在有地下河或者大水潭的洞穴里，生活着许多动物。

小的蠕虫和蜗牛的食物是水从地面带下来的腐烂的或者溶解的物质。鱼、虾和两栖动物吃一些小的生物。蝇类和蜘蛛吃滴落的水里的物质或者互为食物。这些动物都不

具备有功能的眼。它们身上有触角，或有对振动或者压力的改变敏感的特殊器官。它们原来的皮肤颜色已经丧失，身体呈现白色或者幽暗的粉红色。

洞穴探险

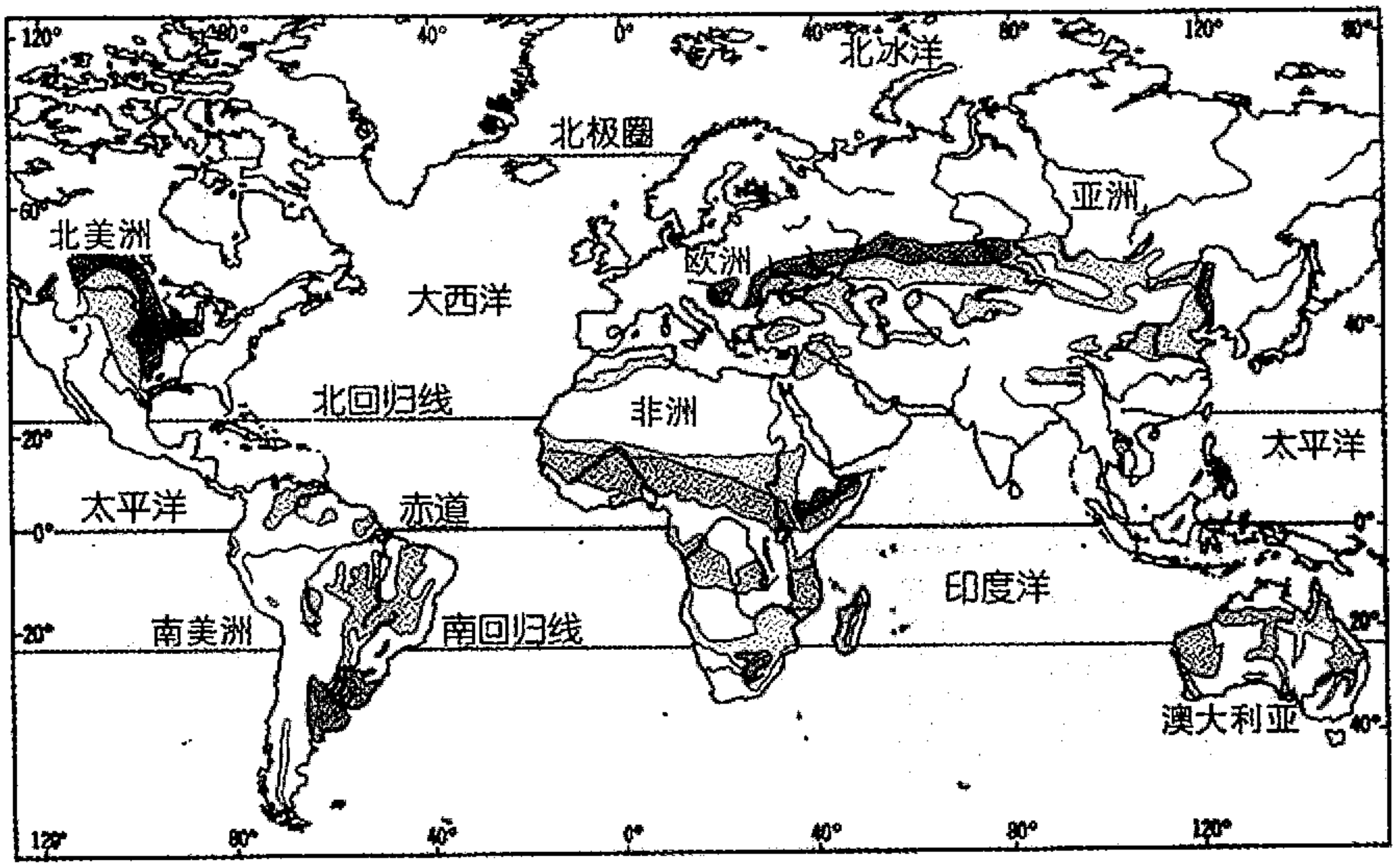
对洞穴进行科学研究的学科称为洞穴学 speleology。这个词来自拉丁语 speleum，意思是“洞穴”。洞穴学要求具备地质学和水文学方面的知识。把进入洞穴探险作为一种爱好的人称为洞穴探索者。探索洞穴可能只是导游带着在国家公园里的洞穴或者商业性的洞穴里旅游而已。也可能是登山运动似的专业化的探索。洞穴探索队员头戴安全帽，脚登钉靴，随身携带安全索、绳梯、手提式电话机、蜡烛和火柴。

草原 GRASSLAND

地球表面大约有五分之一的土地曾经被草覆盖。草原延伸在森林和荒漠之间。邻近森林地带有充沛的雨水，树木和高草混杂生长。草原延伸开去，远离森林，雨量减少，土壤状况发生变化。再往远处是一片高草，没有树木。在荒漠附近的半干旱地带，只有低矮的或者丛生的草。

有显著旱季的低纬度地带的热带草原称为稀树草原。这里靠近赤道雨林的边缘，树木与草混杂。树木在水面上形成拱门状的林木长廊。随着雨水的逐渐减少，高大的树木逐渐被灌丛林、热带旱生林和矮灌木丛取代，最后只剩下草覆盖地面。稀树草原与荒漠接界的地方有时称做热带干草原。

稀树草原上的草长得粗糙，茂盛。高 0.6 米到 3.7 米。湿季一开始，草的暗绿色的嫩叶很快地冒出地面。多数植物单独生长，也有稠密地丛生的。草丛之间是斑点状的东一块西一块的裸露的红色土壤。草成熟的时候，叶片变得坚硬粗糙。旱季里叶片颜色转为灰黄或棕黄，倒伏在地上。



世界主要草原分布图

稀树草原
1. 委内瑞拉和哥伦比亚奥里诺科的南美大草原
2. 巴西南美草原
3. 非洲苏丹草原
4. 南非洲草原
5. 澳大利亚草原

高草草原
1. 美国和加拿大中西部
2. 阿根廷、乌拉圭和巴西东南部的潘帕斯大草原
3. 匈牙利、罗马尼亚和南斯拉夫平原
4. 俄罗斯黑土带
5. 中国东北平原

干草原
1. 北美洲大草原
2. 吉尔吉斯斯坦草原
3. 澳大利亚草原
4. 非洲苏丹草原

世界上的草原有三大类：高草草原、干草原和稀树草原。原来的高草草原只有很少一些地方还覆盖着一层高草。绝大部分地区农民已在这些肥沃的土壤上种植了各种各样的作物。干草原湿润部分已被耕种，其余部分是良好的牧场。稀树草原延伸的广阔区域仍旧保持原始草原的风貌，它们是许许多多动物的家园。

非洲和澳大利亚的稀树草原的比较干旱的边缘地带，覆盖地面的整片草地上穿插着树顶扁平的金合欢这一类树木。在委内瑞拉、巴西和非洲苏丹等地的稀树草原上，高草和低矮的树木以及密灌丛混杂在一起。

稀树草原上的动物

稀树草原是许多动物的天然家园。草和低矮的树木的枝叶为食草动物提供了食物和庇护场所。反过来，这些食草动物又招引来了许多食肉动物。各个大陆的稀树草原虽然大致相似，但是生活在那里的动物却差别很大。南美洲稀树草原上哺乳动物品种很少，动物也小。

这些为数不多的小的哺乳动物包括赤狼、草原鹿、美洲虎、貘、西貒。它们在雄伟、美丽和威武等方面都比不上非洲的稀树草原上的狮子、豹、斑马、长颈鹿、象、野牛和其他的大型动物。蚊虫、蚁、蜱和其他昆虫使稀树草原上的动物和人苦恼。许多鸟类栖息在沿河的树上，这种现象在南美洲尤为突出。

虽然多数稀树草原是平原或者高原，但是也有少数是丘陵。在雨季开始的时候，河岸迅速淹没。到了旱季，河流退回原来的河道，留下大片冲积地在阳光下逐渐干燥。带着冲积土的河漫滩和三角洲是建立居住地最好的地方。虽然稀树草原的土壤通常比热带雨林的土壤好，但是它既不是很好的农田，也不是很好的牧场。

在热带稀树草原上生活的为数不多的人通常以养殖牲畜为谋生手段。牲畜受干旱、酷热和害虫的困扰，一般质量很差。牲畜是非洲稀树草原部落的财富。过度放牧和烧草导致严重的侵蚀。有些人雨季里在庭园或者农田里种植高粱、小米、甘薯、芝麻、烟草和短绒棉。

高草草原上的高草和多产作物

在中纬度地带，由于温度高低悬殊，草原上也生长着细些的、短些的草。高草草原上的草长得高、根扎得深，茂密繁盛，通常还混杂着各种有花植物。草的平均高度大约是0.6米。美国初期的原始高草草原最引人注目的特征是无边无际的高草在风中波浪翻滚。除了河边的树木外，天然的高草草原是不见树木的绵延起伏的平原。

一般说来，高草草原所在地域年降水量为500毫米-1 000毫米，雨量集中于夏季。在比较湿润的部分，降水量似乎足以满足树木生长的需要。人们对草占了绝对优势这一现象作出了各种解释。偶然发生的连年干旱可能使所有幼年的树木全部死亡，取而代之的是那些耐旱的草。也可能是印第安人烧荒或者是雷电闪击，草原起火，烧死了幼树。

高草草原的土壤是世界上生产力最高的土壤之一。主要的高草草原地带如今全都是重要的农业区。移居到这些区域来的人，破坏了自然界的平衡。这个问题在美国特别引人注目。移居者杀死了许多本地的动物——鹿、狎、狐狸、熊、野猫等等。他们将草犁除，种上庄稼。一些动物被消灭了，一些动物数量增多了。某些鸟类，例如草原鸡、山鹑、雉遭受屠杀，相反，有的有害动物例如黄鼠的数量却增加了。原来靠吃本地的草为生的长蝽，现在祸害农夫的庄稼。

干草原——大牧场

年均降雨量为250毫米-500毫米的中纬度大片地区被低矮的扎根浅的草丛所覆盖。这是干草原，通常位于荒漠的边缘。因为它被山隔开，所以干草原并没有出现在所有的干燥区域的边缘。在北美洲，大草原在地域上与高草草原和落基山脉之间的大平原互相重合，北起加拿大南到得克萨斯州。

干草原上的草一般不到10厘米高。干草原的景观是单调的。在雨水多的年份，可能有些植物长得比草高。这种草原最好的土壤是黑钙土，见之于高草草原和干草原之间的地区。要是保护得好，避免侵蚀，在这种土壤上栽培作物，可以长时期地不施肥料。

干草原是许多动物的天然家园，但是没有稀树草原上的动物多。移居者来到干草原后，本地的动物，例如大平原上的野牛遭到捕杀。现在人们差不多已经把全部干草原都种上了栽培植物，养上了家畜。

草原的土地利用

世界各地草原的人口分布是不均匀的。多数的稀树草原和干草原——例如巴西南美草原和北美大平原上人烟稀少。然而高草草原一般都人烟稠密。例如美国中西部以及匈牙利、罗马尼亚、斯洛文尼亚和克罗地亚等国的平原。

欧洲干草原地带的动物多数已被驯养成为家畜。欧亚大陆草原上的人们学会了依靠饲养动物为生。他们和饲养的牲畜逐水草而居，发展了一种游牧生活方式。有些地方宜于放牧绵羊和山羊，有的地方适合于牧牛。人们发现马和骆驼适合于乘骑和运输货物。游牧生活方式曾经延续25个世纪之久，然而政治和经济的因素使它越来越不适合今天的生活。

许多世纪以前就已经在俄罗斯黑色湿草原上开始建立农业地区。欧洲其他高草草原也早就被开垦为农田。北美洲的定居者在发明利用钢犁挖掘坚韧的草皮以前一直避开高草草原。美洲的高草草原如今是富饶的农业区和工业区。

北美和别的地方的干草原最初被养牛人用做牧场。只是在将牛和其他产品运往市场的铁路修通以后，定居者才涌进这些地区。发明了能够在大块农田里种植和收割谷物的大型农用机械后，农场主继牧场主之后来到了草原。农场主也常常耕种雨量不足或雨量不定的地带。逢上干旱的年份，大风刮走土壤，形成漫天尘暴。过度放牧破坏草皮，牧场土地也因此剥蚀。

如今人们正在采取措施纠正这些错误。如有必要，就把农田恢复成为草原。农场主们采用旱农作以及其他水土保持措施。一直在修建灌溉系统，提供可靠的水源。

荒漠 DESERT

生物难以存活的任何荒芜地区都可以称为荒漠。因此，南极洲广阔的寒冷地区、亚洲的极北地带，以及格陵兰都是真正的荒漠，不过它们都是寒冷的荒漠。虽然如此，荒漠这个术语最普遍地用来指那些因为

干旱而成为不毛之地的区域。干旱的荒漠降水量极少，它的特征是耐干旱、耐盐土的特殊的植物，以及独具特色的土地景观。

多数荒漠地区年降水量不足130毫米。不但雨水不足，而且变化无常。例如智利北部伊基克就曾经有一连4年不下一滴雨的记录。到了第5年，下了15毫米的雨，5年的平均年雨量是3毫米。但是也有一次阵雨降水64毫米的时候。

荒漠气候

荒漠的气温有高有低，差别很大，赤道附近的荒漠日温差最大。夏季一般超过38°C。利比亚的黎波里西南40千米的阿齐济耶荒漠保持的记录最高温度是58°C，加利福尼亚死谷紧随其后，最高温度达到56.7°C。

远离赤道的中纬度地带的荒漠冬季寒冷。位于中亚的卢克特钦7月平均温度是32°C，1月平均温度只有-10.6°C，冬夏温差42.6°C。

荒漠夜间温度急剧下降，干燥的空气，晴朗无云的夜空，裸露而干旱的地面，都为日落后空气的冷却提供了理想的条件。24小时内温差幅度通常是14°C到25°C，温差大的地方甚至到了33°C-39°C。

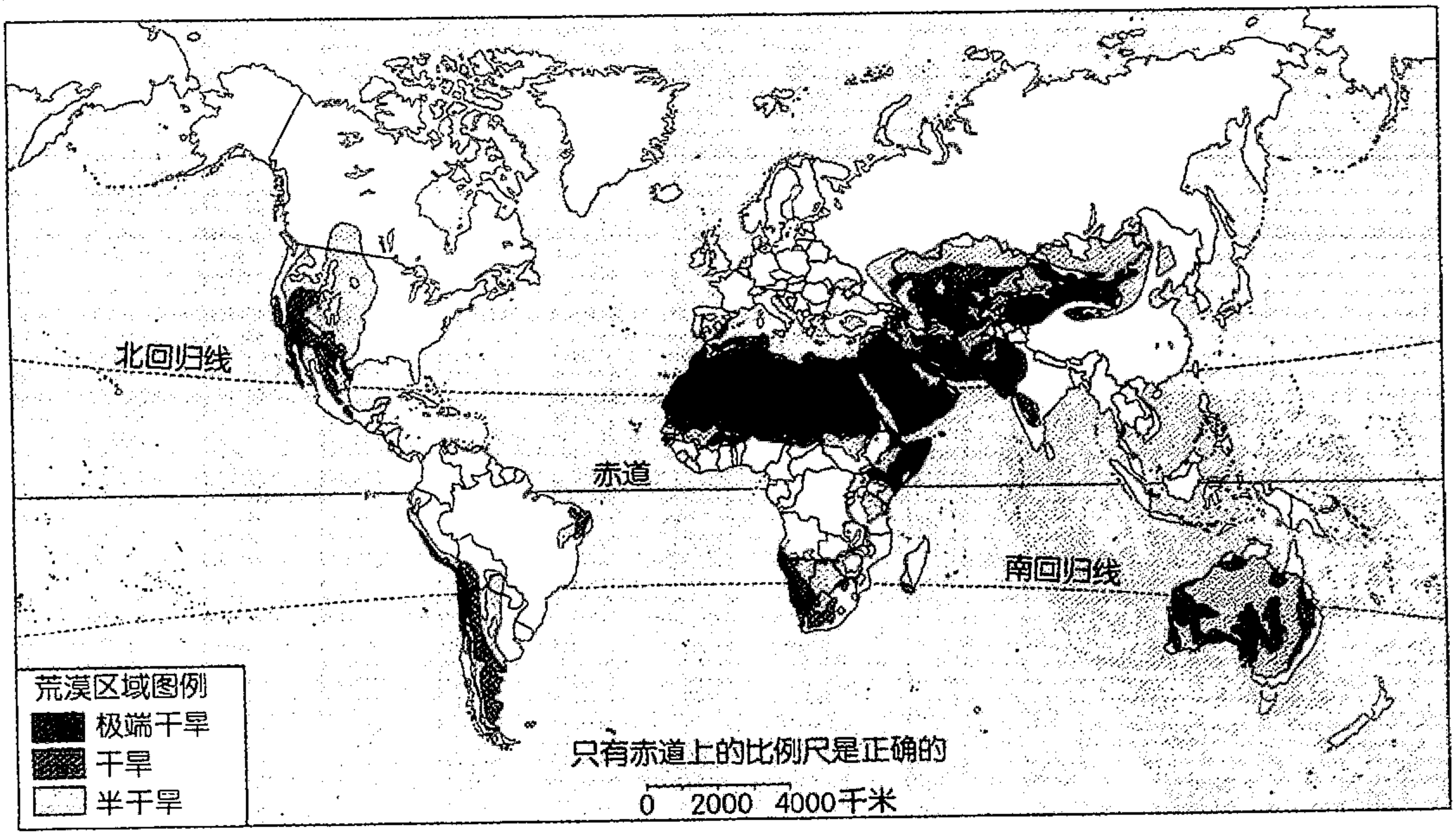
沿海的雾带荒漠，如纳米比亚的纳米布荒漠，相对湿度可能高达60%-100%。在内陆地区的荒漠的相对湿度偏低，大约只有5%-15%。这些内陆荒漠是多风地带。旅行人要经常和风沙作斗争。天空往往颜色昏暗，细细的尘土吹进人的眼睛、鼻子和喉咙。天上难得见到云，沙砾反射阳光，让人睁不开眼睛。空气炎热干燥，水分迅速蒸发。在索诺拉荒漠，水分刚冒出地面就蒸发了。年蒸发量可以达到250毫米。这大致是年降水量的20倍。

荒漠地貌

众多荒漠区域，或者是山地，或者是高原，或者是平原，它们的外貌和特性彼此相差悬殊。这些形形色色的干旱景观，在地球的陆地中约占29 785 000平方千米，相当于地表的20%，分布在除欧洲以外的各大洲。虽然沙丘是荒漠的突出特征，事实上沙丘并不那么普遍，或者说不像人们一般想像的分布得那么广。在美国西南部的荒漠里，沙丘只占荒漠地面的1%弱。在含沙量最大的阿拉伯荒漠里，沙丘也只占总面积的30%左右。如果平原上堆积的沙无边无际，像是一片"沙的海洋"，这种荒漠在美国称为尔格。

更为常见的荒漠类型是被沙漠盆地分隔开来的崎岖不平的山地。在下大雨的时候，山地接受了大部分雨水。水冲刷陡峭的山坡，切割出一道道深沟，挟带岩石碎屑、砾石和砂粒进入沙漠盆地。水流减缓，这些物质沉积下来，形成冲积扇或者冲积锥。由此产生的崎岖地带，例如加利福尼亚州死谷地带，称为劣地。有的时候洪水在盆地里形成一个暂时性的浅湖。像这种在盆地里形成的没有出口的暂时性的湖称为干荒湖。

干荒湖有两种：一种是黏土荒盆或者黏土浅荒湖，在这些谷里，地下水位相对地比较深；另一种是盐盆或者说盐荒湖，地下水位在地表以下3米以内。全年都有水或始终保持湿润的干荒湖称为盐沼。在狭窄的盆地里，冲积扇和劣地可能一直延伸到干荒湖的边缘。在宽阔的谷里，干荒湖与山麓前方其他的冲积扇之间会有那么一片低凹的地面，以及一个缓坡。这样的地面称为荒漠平原。



世界上大多数干燥炎热的荒漠位于北回归线与南回归线之间。

另外有些荒漠是由充满沙的盆地或者尔格分隔开的岩石高原组成的，称为"哈马达"(hammada)。这些区域高度的差别一般较小。许多哈马达是广阔、平坦、穹形的高原。受剥蚀的质地较为松软的岩石被洪水或风带走，坚硬的岩石突出成为方山或单面山。色彩绚丽的岩石上蚀刻出来的尖塔、针和拱门，赋予美国西南部的荒漠奇异的美景。洪流的磨耗力将哈马达的冲沟切割得很深。这种冲沟，在阿拉伯称为干谷，在美国西南部称为干涸沟壑。

荒漠中的水和排水

荒漠中人们只能在有水的地方生活和种植作物，这种地方称为绿洲。有些地方掘一口浅井就能到达地下水位，但是荒漠地区的地下水的位置通常都比湿地的地下水深得多。冲积扇地区的水埋藏在渗水的物质的深处，但是在冲积扇的末端可以掘井得水。

在干谷里，挖掘个平常的井就能得到优质的水。因此在有许多干谷的地方绿洲村落最多。许多干谷往尔格里排水，这些尔格可能有水源。沙丘与沙丘之间的洼地里生长的荒漠灌丛是尔格存在的标志。在那些岩石构造在压力下保持着水的地方可以挖掘深的自流井。有些绿洲就有从岩石缝隙里流出来的自流泉。

荒漠外多雨地区产生的河流是灌溉用水最丰富的水源。除了澳大利亚以外，世界各地的所有大荒漠都有一些所谓的外源河。最大的也是最著名的外源河是埃及的尼罗河、伊拉克的底格里斯河和幼发拉底河、巴基斯坦的印度河和美国的科罗拉多河。

在有水的地方，荒漠土壤一般都是肥沃的。它的质地粗糙，富含矿物质。洪积平原和冲积扇里由水搬运来的土壤是耕种最为广泛的土地。

干旱地区的植物和动物

荒漠里只有很小的部分是不毛之地。在有水渗到表面来的地方，涌现多种多样的植物。下过一场雨以后，矮的灌木和草都恢复生机。花开时节，植物散发芳香，色彩明亮绚丽。这些植物彼此离得远远的，并没有覆盖整个地面。

荒漠植物适应干旱的方式各不相同。依赖雨水生活的植物，天一下雨它就出芽，很快就开花，几天之内种子就成熟，然后就枯萎死亡。

另外一些植物有很长的根系，依靠地下水生活。叶有各种适应方式，例如仙人掌的叶退化成为刺，防止通过蒸发丢失水分。

除了最荒芜的角落外，动物生活在荒漠的各个地方。骆驼是用处最大的荒漠家畜。它的身体结构使它没有水也能够长途旅行。干旱地区各种野生的哺乳类、鸟类和爬行类动物，只能从食物中获得它们需要的水。

世界荒漠的分布

地球上大多数荒漠集中分布在北回归线与南回归线两侧，北纬20°-35°和南纬20°-35°之间。这些低纬度荒漠主要位于各大洲的西海岸，不过荒漠还是存在于非洲北部，而且深入到亚洲腹地。大陆内部的荒漠一般是干旱的。因为山脉拦截了海洋风里的水分。

低纬度荒漠主要分布在东北信风和东南信风路过的地方，或者邻近副热带无风带的地方。这些地方的空气下沉，天气倾向于温暖和干燥。很少出现云，风向不定。当风从寒冷的海洋吹向这些温暖的陆地的时候，寒冷的空气被加热。因为湿润的空气必须先冷却才能降雨，所以这种风很少带来雨。

南北两极周围的冰盖和冻土带有时称为冻漠。冻漠的降水量很少，通常少于250毫米，然而这些地方缺乏植被，主要的原因不是干旱，而是寒冷。

土地的利用和生计

全球居住在荒漠地区的人口总计约有8 500万，平均每平方千米不足3人。只有在有水利灌溉的地方例如尼罗河下游才有人口密集的居民点。

绿洲的土地是珍贵的，因此这里的土地是精耕细作的。北非和亚洲绿洲的农民一般都种庄稼供自己食用。主要的粮食作物有海枣、无花果、小麦、大麦、稻和豆类。如今他们还种植棉花和蔗糖这些经济作物。在美国，有水利灌溉的土地主要是用来种植经济作物的，例如柑橘、海枣、冬令蔬菜和棉花。

关于紧缺的水资源的合适的开发，近来集中注意力于改进地表水的管理技术，改进地表径流的控制和储存，减少浅含水层的水的损失，以及对微咸水的脱盐处理。土壤里盐类的集结成为一个严重的问题，许多国家已经开展这方面的研究，像以色列那样引种耐盐的栽培植物，而不是放弃那些干旱的土地，看来是有希望的。在非洲和亚洲的干旱土地上，游牧民以放牧牲畜为生，他们经常向有牧草的地方迁移。

荒漠生活正在发生变化。由于建设了巨大的河流控制系统，更多的土地得到了灌溉。过去只有骑骆驼才能到达的绿洲，现在已经具有飞机场和汽车加油站等服务设施。为了获得值钱的矿物，例如沙特阿拉伯、伊拉克和伊朗等地的石油，以及南美洲、北美洲干旱地区的铜和其他金属，荒漠中涌现出许多居民点。由于高度蒸发而沉积的可溶性盐类是典型的荒漠矿物。其中最有价值的硝酸钠产自智利北部的荒漠，商品名就称为智利硝石。

撰文：Charles William Finkl, Jr.

绿洲 OASIS

多少个世纪以来，旅行者总是把绿洲看做漫长的干旱荒漠里可以荫蔽、歇息，得到食物和饮水的庇护所。人们把绿洲视为圣地。亚历山大大帝在征服世界的军旅途中，曾经停顿下来，到锡瓦绿洲(今埃及境内)访问住在那里的佐斯·安蒙，向他请教神的旨意。19世纪后半叶，利比亚的库夫拉绿洲群一直是人文荟萃之所，是某些宗教的圣地。

在沙漠里的旅行者和游牧部落总是把绿洲作为旅行队和商队路线上中途歇脚的地方。沙特阿拉伯西南角上的奈季兰绿洲，在它存在的大部分时间里是休息、餐饮和贸易的中心。古时候它是由来已久的乳香没药贸易路线上的一个

大站;现在它成为贝都因人从沙漠里出来购买粮食等必需品的地方。甚至连游动无定的昆虫也熟悉绿洲里的蛇麻花,遮天盖日的沙漠蝗虫会并无前兆地突然降落在绿洲上。

绿州甚至在军事上也起着战略性作用。入侵沙漠地区的武装力量集中力量攻占绿洲,目的在于控制那些依赖绿洲生活和维持生计的这一地区的居民。19 世纪 80 年代法国在阿尔及利亚和今日的马里的地方,以及后来在尼日尔和乍得都使用了这个战略;20 世纪 20 年代意大利人在利比亚南部也控制了绿洲。

无论在什么地方,只要有相对地永久性的淡水供应,都能出现绿洲。这些难得的一片片沃土,占地有大有小,小的只是一小股泉水周围 1 万平方米左右的地方,大的则是自然灌溉的或者人工灌溉的大面积土地。埃及的尼罗河河谷可以看做是一个特别长的、狭窄的绿洲。几千年以来这里的居民靠了合理使用绿洲里的水而得以生存。与此类似,伊拉克的底格里斯河与幼发拉底河之间的原来称为美索不达米亚的地区,以及庇护着大马士革城的叙利亚的库塔绿洲等,绵延不绝的绿洲,多少世纪以来养活着当地的人和生物。

有些绿洲存在的时间不长,显然这是因为水的供应不规则的缘故。非洲的撒哈拉沙漠中部有许多干涸河道,称为旱谷,有的时候有地表水流通过,植物因而生长。另外有些场合,海拔高的区域获得特别多的雨水,足以支持植物的生活,例如阿拉伯半岛的汉志、也门和马斯喀特高地。

但是,更为常见的是因为有地下水源而出现的绿洲。撒哈拉沙漠里偶然的、时间短暂的雷暴提供了地下水,支持了菲吉格和图阿特这样的一些天然绿洲。当地下水的内部压力大到可以像自流井那样把水提升到地面上来的时候,地下水就自然地涌出地表,也可以用钻孔的方法使水流出来。澳大利亚昆士兰的大片土地的地下,有一个深的自流盆地,它的水对农作物来说是太咸了,但是可以供牲畜饮用。泉和井的水可能来自沙岩和石灰石的含水层,或者蓄水石层,或者有的时候地下水位可能离地面极近,因此自然地产生地面泉水。有些时候水源可能离绿洲很远,例如埃及哈里杰绿洲和达赫拉绿洲的水来自一个含水层,它的进水区域远在南边 800 千米以外。

沙漠绿洲一般都是进行耕作的,有些绿洲生产许多粮食,可以向外输出。绿洲里的城市往往建在多岩石的山腰,将山下可耕作的土地让给了作物。主要的作物有海枣、粮食作物、树木以及缠绕植物。海枣的根扎得很深,可以够到地下水面,不用灌溉就可以获得营养,树木形成林冠,在它的覆盖下较小的树木、藤本植物和其他植物得以生长。这些植株较小的树木生产杏子、梨、柑橘、橄榄和石榴。瓜类、谷物和其他作物也能生长。利比亚库夫拉绿洲的居民在一部分土地上进行试验,先用来种小麦,随后用来养羊,以后再种小麦;这个绿洲还是个知名的骆驼饲养中心。

摩洛哥的塔菲拉尔特是撒哈拉沙漠里最大的绿洲之一,面积约为 1 300 平方千米。其他著名的绿洲还有例如埃及的哈里杰和达赫拉,阿尔及利亚的比斯克拉和瓦尔格拉,以及利比亚的库夫拉。

现在建成了一批全新的绿洲,为沙漠居民提供宜于耕作的土地和永久居住的家园。1975 年利比亚的沙漠的 200 平方千米土地开始得到灌溉,政府官员还考虑从海边运水灌溉撒哈拉沙漠。

沼泽 SWAMP, MARSH, AND BOG

通常按照土壤和植物的类型把湿地分为木本沼泽、草本沼泽和泥炭沼泽三类。木本沼泽和草本沼泽位于河流附近低凹地带,或者海边高、低潮位线之间地形平坦的地方。因为接受富含矿物质的地下水的补给,它们都是矿物土壤。这两种湿地的差别在于木本沼泽里的植物主要是树木,草本沼泽里占压倒优势的是草。

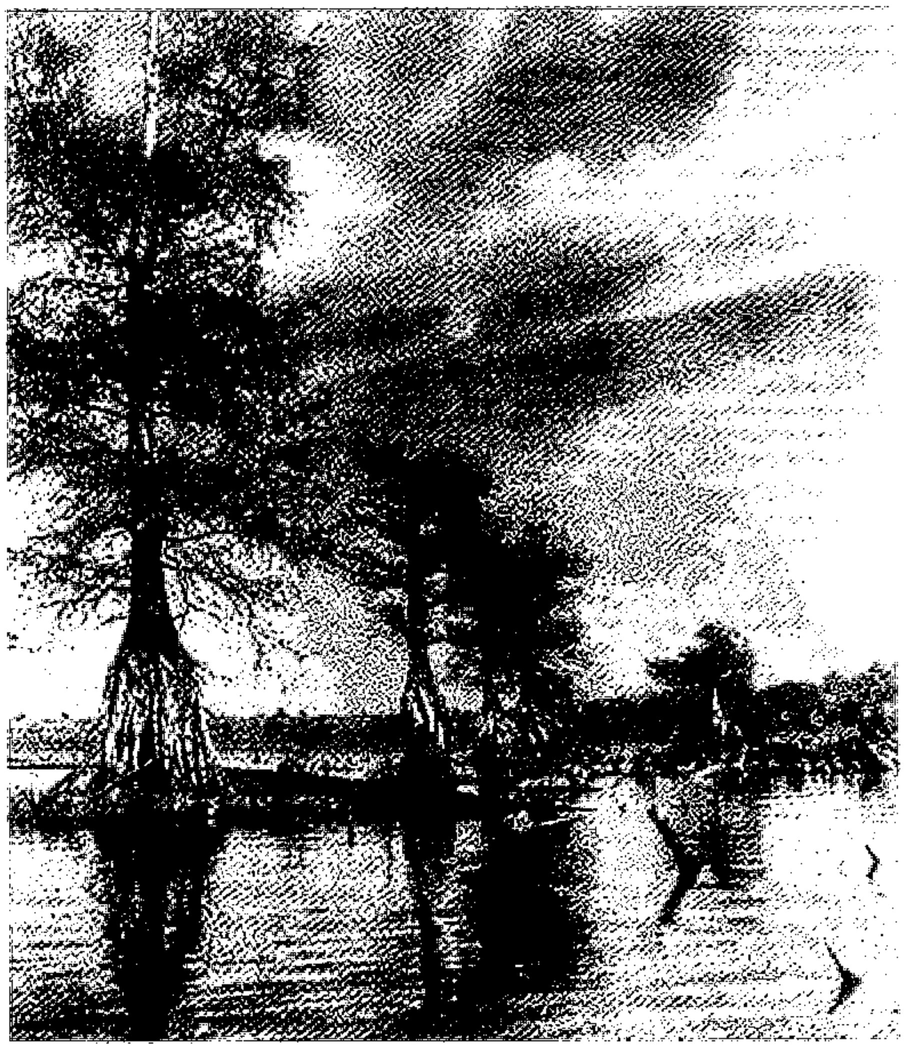
泥炭沼泽里是海绵状的含泥炭的土壤。它几乎不含矿物质,因为泥炭沼泽的水的主要补给来源是雨水,其中很少矿物质。因此泥炭沼泽的植物只是些能耐贫瘠土壤的简单的植物,例如藓类、苔草、芦苇。

木本沼泽

木本沼泽多见于河流附近的低凹地带,那里水的补给来自河流。一些木本沼泽原来是草本沼泽,草逐渐长满以后,慢慢地滋生树木和木质化的灌木丛。这些树木遮住了太阳,终于杀死了许多别的沼泽植物。2.5 亿年以前木本沼泽里死亡和腐烂的植物成为今天的那些最有价值的煤田。

淡水木本沼泽 那些只比河水水位高出 1 米左右的河岸和泛滥平原以及废河道和牛轭湖,一年的大半年里都可能有停滞的死水或者缓慢流动的水维持木本沼泽和草本沼泽的生存。许多树木只要它们的根没有长期地浸泡在水里,都能够在淡水湿地存活,甚至茁壮成长。

Courtesy of the Virginia Department of Conservation and Economic Development



位于弗吉尼亚州东南角迪斯默尔沼泽中央的杜伦孟德大淡水湖。

落羽杉这样的树特别适应在木本沼泽生长，但是那些产树胶的树、柳树、槭树和桤木也是木本沼泽里常见的树木。木本沼泽里可能有大量野生动物，这主要取决于这片沼泽里的植物是不是多种多样。

美国有许多木本沼泽，其中有沿密西西比河及其下游支流的大面积的木本沼泽；佛罗里达大沼泽地西北部分的大片落羽杉沼泽；北卡罗来纳州和弗吉尼亚州的迪斯默尔沼泽(事实上是水道、木本沼泽和草本沼泽的混合体)。佛罗里达大沼泽地和佐治亚州奥克弗诺基沼泽一样，都是草本沼泽和木本沼泽的结合体。

海水木本沼泽 海水的淹没和退却，在平坦的海滨形成海水木本沼泽。热带和亚热带地方经常被淹没的受保护的地区发展为红树林沼泽。这些沼泽的含盐量高，使它们成为多数植物的生长禁区，但是强壮的红树甚至能够在海边的完全是沙的沙地里生长。湄公河和亚马孙河、刚果河和恒河的三角洲，以及澳大利亚和苏门答腊的北部海岸，都有大范围的红树林沼泽。红树林的树冠庇护着多种多样的动物，蜗牛、蟹、蠕虫则安居在树根之间。

草本沼泽

草本沼泽像木本沼泽一样，往往形成于河口，尤其是广阔的三角洲地带。河流为草本沼泽源源不断地补给缓慢流动的水和丰富的沉积物，为沼泽上的草创造了优良的环境。这些草的根扎得浅，四下蔓延，把淤泥结合在一起，减缓了水的流动，促进了草本沼泽的扩展。

淡水草本沼泽 包括普通的河口草本沼泽和那些称为高草草原坑洼的小片草本沼泽，后者多见于美国中西部无数的小片凹地里。草本沼泽里常见的植物有草、苔草、芦苇、灯心草、稻。也和木本沼泽一样，淡水草本沼泽往往有许多野生动物。

著名的河口草本沼泽有罗纳河三角洲的卡马格沼泽和罗马尼亚的多瑙河河口的沼泽。尼罗河、底格里斯-幼发拉底河、湄公河和亚马孙河等河口三角洲也都有草本沼泽。位于博茨瓦纳卡拉哈里沙漠东边的奥卡万戈沼泽也许是内陆闭合盆地里形成的草本沼泽的最好的例子。

海水草本沼泽 其形成过程与海水木本沼泽一样，它是最富生产力的自然系统之一。常见的草是大米草属的绳草或伸展大米草。其他种类的草也能扎根生长。在海水草本沼泽生活的动物有昆虫、无脊椎动物和甲壳类动物。海水草本沼泽普遍分布于美国东部沿海、北极地区、欧洲北部、澳大利亚和新西兰等地。

泥炭沼泽

泥炭沼泽一般是在岩石一度被冰川冲刷成为凹地，被水填满的地方形成的。泥炭沼泽可以分为三种类型：温度较低地区苔藓和石南灌丛占优势的典型的泥炭沼泽；禾草一类植物占优势的积水泥炭沼泽；热带木本泥炭沼泽。

典型的泥炭沼泽 典型泥炭沼泽或泥炭藓沼泽中的水和矿物质的补给完全依靠雨水。占优势的泥炭藓把水里含量已经很低的矿物质大量吸进体内，释放出酸作为交换。泥炭藓还减缓空气进入水的过程。缺乏氧气，酸度升高，再加上缺少矿物质，三方面的结合减弱了植物物质的分解。其结果是死的苔藓一层一层累积起来逐渐形成泥炭。泥炭是一种燃料，是煤的发育的第一阶段。

泥炭沼泽一般是从一个小的水体岸边植被的浮毡开始的。这个浮毡发展成为一个苔藓和石南灌丛组成的沼泽浮毡，它不断加厚并且向水体的中心生长，延伸。浮毡的底部一小块一小块地脱落，沉入湖底，因此一方面湖底由于碎片的堆积而抬高，一方面浮毡因为加厚而向下延伸。

植被仍保持飘浮状态的泥炭沼泽称为颤沼。人或动物在上面走动的时候，它会下沉或者颤动。人和动物都曾经因为踩破浮毡落水溺死。如果泥炭很厚而且呈海绵状，不再飘浮的泥炭沼泽也会颤动。

因为环境过于恶劣，典型泥炭沼泽上长的植物是有限的，除了苔藓、石南灌丛以及一些禾草和苔草之外，还可能长有一些食虫植物和兰科植物。野生动物也不多。泥炭沼泽覆盖加拿大、北欧和俄国的广阔地区。

积水泥炭沼泽 它接受地下水补给，其中溶有一些矿物质，而且只呈微酸性。因此，与泥炭沼泽相比较，它的植被要丰富多样些，主要为禾草状植物、禾草、苔草、兰科植物和芦苇。这种沼泽通常出现在泥炭藓沼泽附近。

热带木本泥炭沼泽 它只出现在水中矿物质含量非常少的地区。植物主要是常绿阔叶树，这里的泥炭几乎全由树木残存遗体形成。马来西亚、印度尼西亚，以及地处热带的南美洲和非洲的广大地区都有这种热带木本泥炭沼泽。

撰文：Lisa McGowan

水 WATER

地球表面几乎四分之三是被水覆盖着的。也许水是世界上最重要的液体，一般说来却不难从雨、泉、井、溪、流、江河、池塘和湖泊中获得。它装满了广阔无边的海洋。作为水汽，水也存在于空气里，往往密集成为云。多数生物体所含的水分占很大的比例。例如水占着人的体重的60%左右。

水对生命说来是必不可少的。千百万年以前地球上最早出现的生命形式是生长在海洋里的。尽管今天许多植物和动物都能够在陆地上生活，它们还是需要水。这种支持生命的液体构成为活的组织提供营养的多数动物的血液和植物的汁液。

人们使用水，但又从来没有把水用完了。水在世界上不停地循环。今天一个人喝的一口水也许就是曾经让石器时代的一个人恢复精力的那一口水。虽然地球经常获得水的补充，然而许多地区几乎完全缺乏这种珍贵的液体。

水的分布帮助人们决定在什么地方居住下来。住在城市里的人打开水龙头就能得到水。如果城市里没有自来水了，每个人都只得离开城市到别的地方去找水。人们需要农作物作为食物，而农作物的生长离不开水。一株完全成长了的玉米每天需要大约4升水。种植一公顷棉花需要大约7 500立方米水。水影响地球上的气候(见：**气候**)，通过侵蚀和冰川的擦损，水改变了陆地的表面。(见：**冰川**)

水的物理性质使它与多数其他液体有很大的不同。例

如水的一个稀罕的性质是固态的水比液态的水轻。如果冰(固态水)比水重,水体里水结的冰将沉入水底,从水底一直堆叠到水面,将一切水生生物杀死。水贮存大量热量的能力,帮助生物经受剧烈的温度变化生存下来。要是人体组织里没有水的话,人一天的活动产生的热量足以使他的体温上升到差不多150°C。

日常生活里的水

人体组织一天需要大约2.37升水。多数人一天大约喝1升水。其余的水依靠食物里含的水补充。例如鸡蛋含水74%;西瓜含水92%;瘦肉含水约70%。而牛奶、咖啡、茶、果汁以及软饮料之类的饮料主要就是水。

有些袋装食品是脱了水的;还有些是冻干的。这两种加工都是把水从食品里除去以免食品腐坏变质。但是在制造其他许多食品的时候水则是必不可少的。

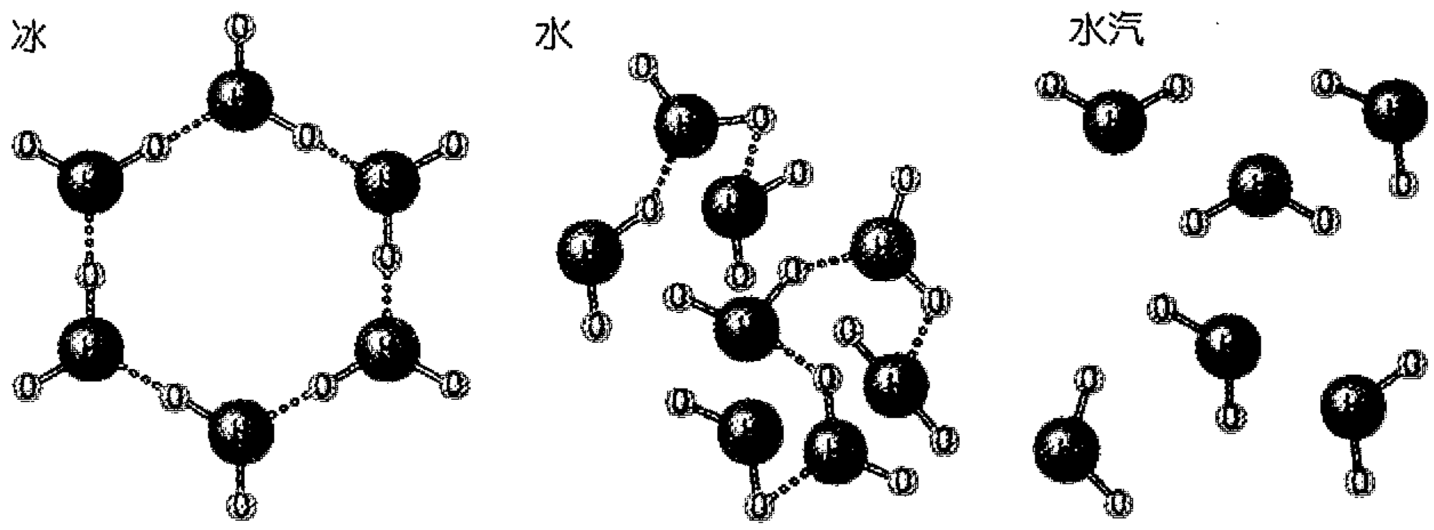
住在城市里或现代化农场里的美国人,每人每天平均需要大约190升水供个人生活和日常家务之用。其中包括饮用、洗涤、做饭和清除废物。在浴缸里洗一个澡可能要消耗95升水。洗淋浴大约每分钟要流掉19升水。还有大量的水用于喷洒草坪和花园,用于运转家庭、商店和办公楼里的空调机和中央供暖系统。美国每天消耗的水量超过4亿立方米,这些水都没有立即再次使用。这个总数包括灌溉、工业、消防和清洗街道的用水。

水对工业是非常重要的。它使水力发电站的汽轮机旋转,发电,供照明、取暖之用,为许许多多工厂和团体提供动力。有些工业,例如石油工业,制造产品需要用水。例如精炼1升汽油需要用10升水。湖泊、河流和海洋则是运输工业产品的重要的航道。

在缺水的地区农民种植作物必须灌溉土地。灌溉工程使一度是沙漠的地区成为肥沃的土地。美国每天灌溉种植作物的土地的淡水约为3.8亿立方米。

虽然水通常总是对人有益的,但是它也可以造成很大的危害。洪水、冻雨、冰雹、雪和暴雨每年造成千百万美元的损失。破坏性的洪水和风暴也造成人员的伤亡。

水的物理状态



水的物理状态取决于它的分子结构,而后者又受温度的影响。当冰融化的时候,它的固定不变地排列的分子渐渐随意地活动。当水被加热的时候,水分子活动更加迅速,最后完全分离成为蒸汽。

水的起源

多数科学家相信,在几十亿年以前,地球原来是一大团灼热的、旋转的气体和尘埃。这气体里有组成水的氢和氧。当地球开始冷却的时候,氢和氧的原子结合形成水。但是那时候的地球还是太热,水不能以液态存在。作为气态的水的蒸气从地球上升起,冷却后形成厚厚的云层。一旦这些云层中的水滴降落到地球表面,它立即沸腾,重新回到云层。

最后地球的温度下降,足以使一些水停留在液体状态。这种现象一出现,云层里大量的水汽凝集在一起,降落到地面。科学家认为第一场雨可能下了几百年。地面凹陷的地方开始灌满了水。地球上的岩石被洪流淹没,大陆的雏形开始出现。(参见:地质学)

水的组成和水的三种物理状态

一个水分子(化学式H_2O)含有两个氢原子和一个氧原子。因为氧比氢重得多,氧占着水分子重量的89%左右。

不论是液态的水,固态的水(冰),或者气态的水(水汽,或者说水蒸气),它的化学结构是一样的。水的三种物理状态取决于水分子的运动,后者又取决于热。例如冰的水分子因为失热过多,以至于它只能缓慢地运动。分子之间的电的吸引力变强到足以使它们以固定的排列方式紧密结合,分子的运动范围小,因此冰保持着它的形态。

当水是液态的时候,它的分子获得热,足以使它们比在冰里的时候更快地运动。这种增强的运动足以使它们克服分子间的电的引力的大部分,使它们可以相当自由地运动。因为液态的水分子没有固定的形状,容器是什么形状,它就是什么形状。当水是蒸汽或者水蒸气的时候,因为继续增

加热，分子运动更迅速，完全克服了分子间的电的引力。（参见：物质）

温度和压力决定水的物理状态的改变。在海平面一个标准大气压下（水银柱 760 毫米）纯水在 0°C 时结冰，在 100°C 时沸腾成为蒸汽。

水的密度和重量

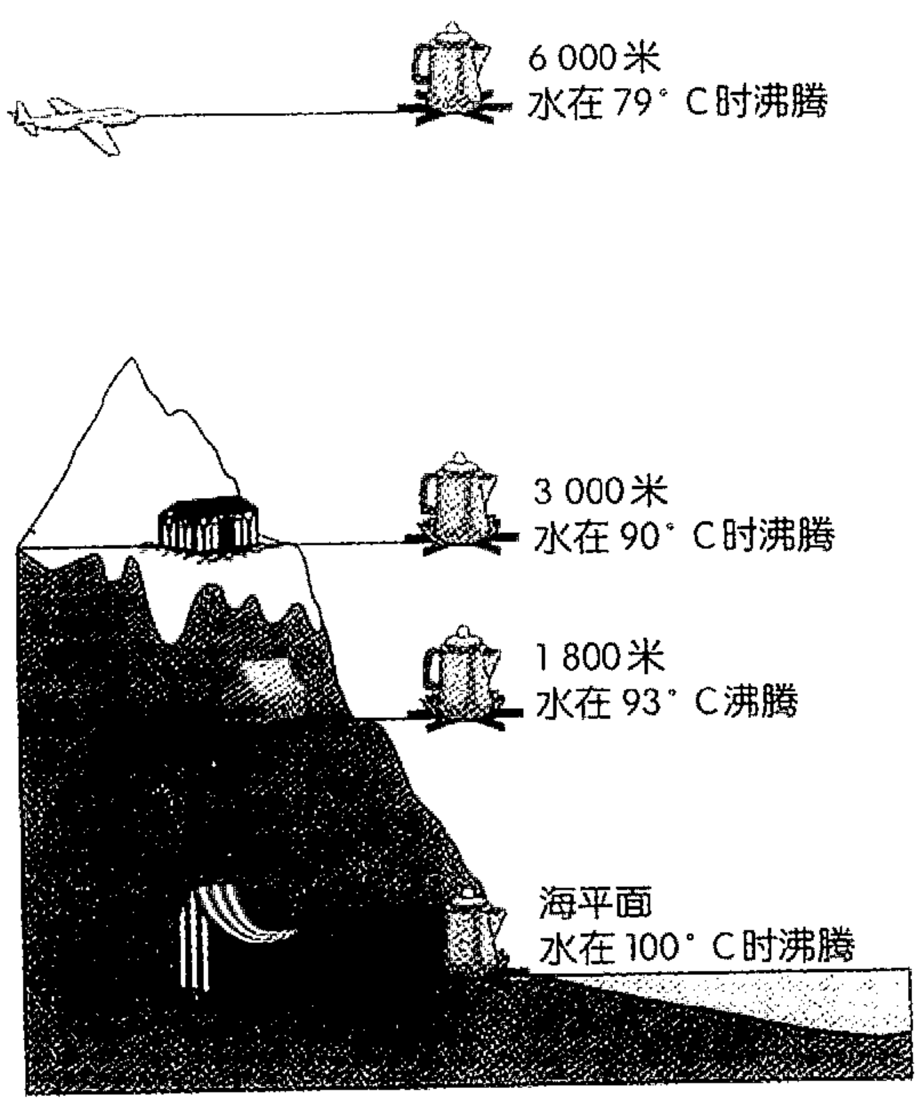
水在 4°C 时候的密度（单位容积的重量）最大。低于 4°C的时候，水在结冰的过程中有少许膨胀。温度高一些的时候，水也有一些膨胀，一直到沸腾。4°C 的纯水密度是每立方厘米 1 克。这个数值是相对密度（也称比重）的基础。比重就是纯水与其他物质密度的比率。例如金的比重是 19.3。这意味着金的密度（重量）是水的 19.3 倍。比重大于 1.000 的物质在水中下沉；比重小于 1.000 的物质浮在水面上。

每 1 000 立方厘米的水重 1 000 克亦即每升水重 1 千克。因为每 1 000 千克海水中含盐约 35 千克，海水一般比淡水重 3.5%左右。水的重量当然使水的压力随着深度增大。海洋每深 1 米，每 1 平方厘米就增加压力 0.1035 千克。按照这个比率，海洋 1 千米深处每平方厘米的压力是 103.5 千克。

水怎样结冰和膨胀

在海平面的大气压力下，淡水在 0°C 时结冰。因为海水里含有盐分，使海水的冰点降低，海水在-2°C 左右结冰。

大气压力使水的沸点发生变化



随着海拔高度增加，大气压强逐渐降低，使水沸腾所需要的热也相应减少。

温度降到冰点的时候，水分子的运动减慢。结了冰的水保持 0°C，但还继续释放热。冰在融化过程中，产生的冰和水的混合物在冰全部融化以前，一直保持 0°C。于是水吸收的热与水结冰的时候丧失的热相等。这种在温度保持不变的条件下丧失或吸收的热叫做融化潜热。每克水的融化潜热约为 80 卡。

水结冰的时候，它的体积大约膨胀$\frac{1}{10}$。因此，1 立方米的水变成冰时体积变为 1.09 立方米。与水相比，在同样的温度下，冰的密度变小了（轻了），它漂起来了。

结冰的水的膨胀，力量很大，这个力的大小决定于水结冰的速度和其他的因素，可能大到每平方厘米将近 1 吨。没有采取保护措施的水管往往在寒冷的夜晚爆裂，就是这个巨大的膨胀力造成的。换上更重的水管也无济于事，因为科学家已经证明，装了水的铸铁管，即便管壁有十几个厘米厚，水结冰的时候还是会胀破的。但是如果让水龙头慢慢地滴水，流动的水的摩擦往往产生足够的热，足以防止水管爆裂。

水怎样蒸发和沸腾

热使水从液体转变为气体。一切物质都具有一些热，它的分子全都在运动。液态水分子的运动还不够快，水分子不能逃逸。但是在水的表面的一些分子被它们下面的分子碰撞，获得足够的速度挣脱水面，飞进了空气。水表面分子的这种不断逃逸称为蒸发。

水温升高，因为分子运动得更快，蒸发的速度也随之提高。如果温度升得足够高，水面下深处的分子也能挣脱它们周围的分子，成为气泡。气泡上升到表面，成为水蒸气飘散。产生这种活动需要达到的温度称为沸点。海平面处水的沸点是 100°C。

当液态水转变为水蒸气或者说水汽的时候，水吸收热而温度并不升高。两份重量相同的水，同时转化为蒸汽，其中一份，像平常那样慢慢地蒸发，另外一份使它沸腾，迅速地蒸发，这两份水各自吸收的热大致是相等的。在没有火焰或者其他热源的情况下，蒸发的水汽从周围环境吸收热。在这个过程里，周围的一切都将降低温度。住在气候温暖地方的人为了让水变凉常常把水盛在一个大帆布口袋里，或者盛在有气孔的陶罐里，因为有些水渗出来，这些容器的外边变得潮湿了。潮湿表面的蒸发，吸收里面的水的热，水就凉下来了。

转变成为蒸汽的水吸收了热。在海平面压力下，100°C 的 1 克水转变为水蒸气需要的热为 540 卡。这就是汽化潜热，是水的一种有用的性质。它的效应很大。当海平面压力下的 1 立方米的水沸腾转变为蒸汽的时候，这蒸汽的体积是 1 700 立方米。迅速运动的水分子成为蒸汽飘散的时候，它们能够将相当多的能转移给周围的事物。这个能被用之于加热系统、蒸汽机和汽轮机。

压力对沸点的影响

大气压力影响水的沸点。大气压力增加，沸点随着提高；大气压力降低（例如海拔升高的时候那样），沸点也随着下降。

施于水表面的压力作用于水分子使它停留在水面之下。压力增加，水分子需要更多的热才能获得逃逸必需的速度。这就是压力锅的工作原理。压力锅上的压力计显示压力为每平方厘米7千克的时候，锅的内部的温度已经超过150℃。

压力减小，沸点降低，这是因为分子逃逸需要的速度降低了。高山上的大气压力低，沸点降低，低到水烧不热、鸡蛋煮不熟。

几种不同的水

科学家起初认为一切水分子都是一样的。后来他们知道氢有三种同位素，氧有六种同位素（见：**原子粒子**）。这九种同位素能够以许多种结合方式，形成不同重量的水分子。但是通常只有一种氧的同位素参与水的形成，因为这种同位素占世界上全部氧的99%以上。氢同位素更为重要。科学家所说的这些同位素分别称为氕（质量数为1的氢），氘（质量数为2的氢），氚（质量数为3的氢）。氕与氧结合形成轻水；氘与氧结合形成重水；氚与氧结合形成超重水。

自然界里的普通的水大部分是轻水，分子式是 H_2O。化学家称重水为氧化氘（D_2O）。它比 H_2O 约重10%。重水在平常的水里只占$\frac{1}{5\,000}$。蒸发可以分离重水与轻水，但是化学家们通常用的是更有效的方法即电解法（见：**电化学**）。因为 D_2O 对电解作用的反应比 H_2O 慢，轻水消散以后剩下来的就是重水。科学家用重水使核反应堆里快速运动的中子减速。（见：**核能**，"核反应堆"）

超重水又称氧化氚（T_2O）。因为很难把氧化氚分离出来，而且它又高度不稳定，人们对它的了解很少。氧化氚有放射性，所以科学家用追踪 T_2O 的方法来观察水对各种有机化合物的影响。放射性氧化氚可以用专门的仪器检测和追踪。

天然的纯水是找不到的，因为水是许多矿物的最好的溶剂。水从流过的地方得到一些物质。化学家必须将水蒸馏才能取得精确的化学加工需要的纯水。凡有前缀 hydr（来自希腊语 hydo"水"）的化学术语，例如 hydrate（水合物）、hydride（氢化物）、hydroxide（氢氧化物），都显示一种物质中含有水。Anhydrous（无水的）和 dehydrated（脱了水的）的意思是一种本来含水的物质里的水已被除去。

水是怎样在世界上循环的

支持生命和生命活动的水必须是随时可以得到的。乍一想，似乎事情本来就是这样的，因为地球确实是被水包围着的。靠近地平面的大气中常常4%是水汽。也还有千千万万湖泊、江河和溪流散布在地球表面。浩瀚的海洋几乎是取之不尽、用之不竭的水源，它覆盖地球表面71%的面积，水量为13.76亿立方千米。然而，虽然有这么多水，地球上还是有些部分是干旱的和极端干旱的。地球与大气之间水的循环方式决定了可以在什么地方找到丰富的水供人使用。

水循环

如果除了重力以外再没有其他的力起作用，那么地球上的水将会全部流入大海，停留在海洋里，而地面上将成为没有生命的荒漠。但是水并没有在海洋里停滞不动。太阳的热使它继续不断地从海洋和其他水体蒸发，风把它吹得飞过大海和陆地。于是总有大量的水以水汽的状态悬浮在大气里。当某种天气状况盛行时，大气里部分水汽形成了云。云层里累积的水汽太多，超过了它们能够保持的限度，水就以雨或雪的形式重新返回地面。水从海洋里出来进入大气又返回地面和海洋这个运动过程称为水循环，或水文循环。

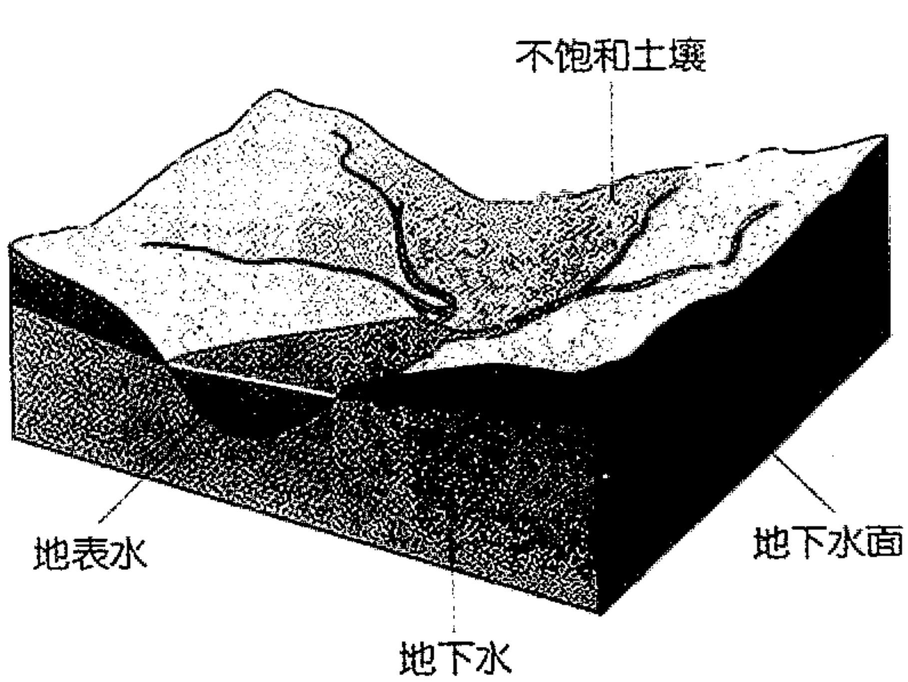
太阳、空气、水和重力的共同作用使水不停地循环。这个循环的主要步骤包括：太阳的热使水蒸发和植物造成水的蒸腾；冷空气使水汽凝结；重力使水降落；以及重力使水回归海洋。有些水是从江河、湖泊、潮湿的土壤和植物蒸发进入空气的，但是在地球表面流动的水主要来自海洋并且最后又返回海洋。

地表水和地下水

覆盖在地球上的土壤起着一个巨大的筛子的作用。土壤颗粒之间有细小的孔隙，水可以通过它们渗进土壤里。下大雨的时候，土壤里的这些细小的孔隙迅速被雨水灌满，孔隙里装不下了的其余的水——地表水，在土壤的表面流走。像这样的地表径流是薄薄的、看不大出来的一层水，它不停地流，一直流到可以容纳这些水的低凹的地方，例如水沟或者河床。它从那儿再流出来的时候已经不再是薄薄的一层水，而是轮廓分明的一股水，往低处奔流直到大海。

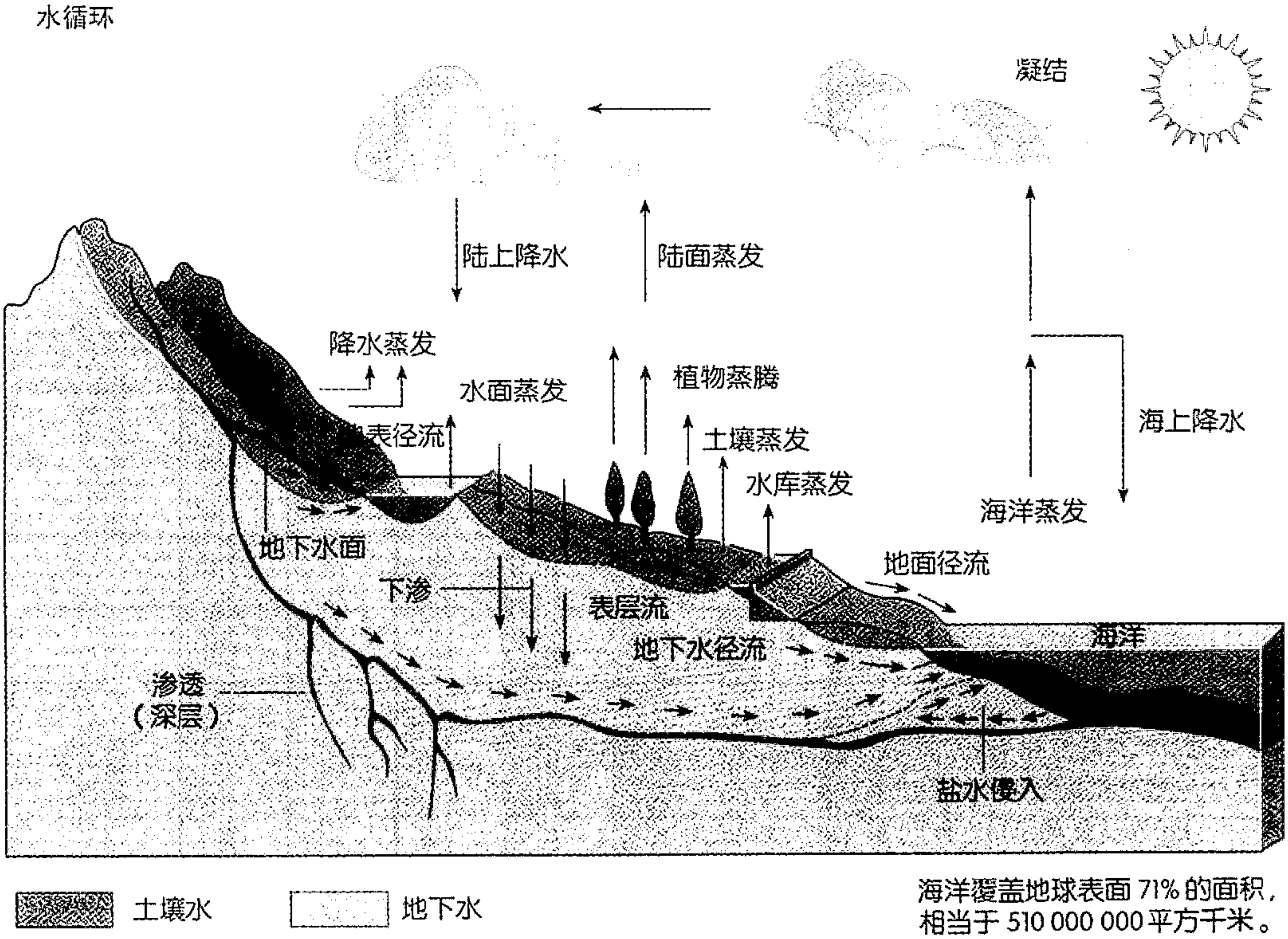
渗入土壤的水一滴一滴地缓慢地向下流动，或者穿过土壤和岩石里的小孔隙、小裂纹向下渗漏。能够保持水分的岩石层和土壤称为含水层。下渗的水最后到达一个层面，因为那里的基岩形成了一个底座，下渗的水不能继续下降。随着越来越多的水积聚到含水层里，含水层的水已经饱和，再装不下更多的水。含水层里的水称为地下水。因为坚硬的基岩底座存在于不同的深度，地下水的位置也深浅不同。

从陆地横断面见到的地下水面



地下水面是地下水顶部的水平面。如图所示，地表水是地下水面外露的部分。

水循环



水循环是自然界最重要的过程之一。水蒸发到大气里，以雨或雪的形式降落到地球上，然后流入海洋重新开始这个循环。来自太阳的能保持这个循环平稳地运转。每年从陆地和海洋表面蒸发的水在以雨或雪的形式降落以前，在大气中大约停留10天左右。蒸发的水大约84%来自海洋，其余来自陆地。

地下水是淡水的主要来源。科学家估计北美洲的地下水足以把整个北美大陆淹没在30米深的水里。人类把地下水从井里弄到地面上来，满足他们对水的需要。有些地下水通过毛细作用运动到土壤的表面，蒸发到空气里。植物从土地吸收水分滋润自己。水分被植物的根吸上来输送到叶子里，从叶子蒸发到空气中。这个过程称为蒸腾作用。一棵完全长成了的橡树一天可能蒸腾的水分约380升。夏季一公顷玉米每天蒸腾的水分是28立方米到37立方米。

地下水位

地下水的顶部的水平面称为地下水位；地下水位以下的土壤是浸在水里的。在地上挖洞，如果挖得很深，可能挖到地下水位。各个地方的地下水位并不是都在同一个水平面上。某些地方它可能接近地面，另外一些地方它可能在地面之下百来米深。有时候挖掘土地深了，露出地下水位。于是地下水像溪流或者河水那样流淌。

气候条件的变化以及被植被利用的降水的量的变化，会使地下水位升高或降低。大雨能升高地下水位。地下水位太高，植物受害。降雨量过少，土壤变得极其干燥，渗到地表的地下水蒸发后得不到补充，地下水位因此降低。如果失去的水分大部分不能很快地补充，就可能发生旱灾。

从井里抽水，可能影响一定范围里地下水位下降。地下水被抽到地面上来的时候，井里的水位将略低于周围的地下水位。周围的地下水因此将向井里的低水位流动，使地下水位出现一个下凹的锥形。这使地下水位稍微降低。如果从同一个地区的许多个井里同时迅速地抽水，地下水面可能显著降低。如果雨量充足或者减少从各个井里抽水的数量，地下水位又会上升。

水的运动

地下水和地表水都往下坡流动，有些地下水可能被坚硬的岩石截住。它上方的地下水的重量形成压力，这部分被截住的水因此就滞留在原处。当人们掘井掘到被截住的水的水池的时候，水被释放，不用抽水机水就直接涌向地

表。这种井称为自流井。

通常地下水沿坡向下缓慢流动，在多孔的土壤中渐渐渗开伸展变平。它最后流入常年平稳地流淌的小河，小河又汇集到大的江河，流入海洋。

怎样给公众供水

人们需要淡水供应维持生命。供水系统为居民、商业、工业、清除废物和灌溉提供用水。公用事业也需要用水，例如消防和清洗街道。城市供水系统通常包括水的采集、输送、净化、储存和分配。

有些城市从湖泊、河流或池塘里抽水。还有些居民用的是从井里抽上来的水。蓄水库或拦河坝有时兴建在采水点或者在它附近的地方，保证水的可靠的供应。许多水库有多种用途，例如公众供水、灌溉、通航、水力发电、洪水控制以及娱乐。在加利福尼亚州正是如此，那里的水常常是远距离输送过来的。另外一个获得淡水的方法是海水淡化——除去海水里的盐分。海水淡化设施通常兴建在沿海岸地区。

水在配给用户之前通常要经过处理，使水卫生安全、悦目可口。自来水工程包括控制配水量的抽水站和水处理系统。一般是通过河道将水引入自来水厂。也利用重力或者压力通过沟渠、隧道和管道输送水。

城市里用称为总水管的粗大的管子输送自来水厂的水。这些地下的管道将水送往全城各个部分。配水管是用铸铁、球墨铸铁、钢或者混凝土制造的；金属管常常涂上涂料防止腐蚀。将水送到用户的有些是铜制的小些的水管。因为大量的铅对人有害，现在已经避免使用铅制的水管接头。街边的消防给水栓的水管是直接连接总水管的。

市政当局的或者私人所有的自来水厂必须设法使水通过总水管输送给建筑物。小的市镇可以把蓄水池建造在小山上或者把蓄水罐放在高耸的水塔的顶上，用抽水机把水送上去。水进入总水管，凭着重力向下流动。蓄水池或罐里的水的高水位和重量迫使总水管的水上升；在条件允许的时候，可以上升到和蓄水池或罐里的水同一水平面。这个作用能将水送进给水栓和建筑物里所有的水龙头，只要它们的位置低于蓄水池或水塔。

大的市镇和城市不能提供那么多的蓄水罐。如果城市附近有山，可以把水贮存在建在山的高处的水库里。水会凭借重力向下流入城市。

抽水

自来水厂以每平方厘米 2 千克－7 千克的压力把水送进总水管。这个压力可以使水到达许多建筑物的高层，用不着再进一步抽水。

城市为居民提供的水有多有少，美国城市居民每天平均用水 570 升。这个数字里包括消防用水、清除废物用水、清洁街道用水和工业用水。多数城市没有能力支付现款建造昂贵的自来水工程，他们发行债券筹集资金。为了偿付债券和维持供水系统的运转，城市也曾向房地产拥有者征收税款。现在多数城市在每一所建筑物里安装水表，按用水量向用户收费。

水的净化

如果水源提供的是比较纯净的水，将水从水源直接输送给用户的简单的供水系统可以很好地运转。但是很少城市可以找到这样好的水的供应。污水或者牲畜棚的废物会把病菌带给水源。未经处理的工业废物也常常使水的供应受到污染。水可能夹杂污泥、淤泥和溶解的矿物质。自来水厂先要除去杂质，然后才把水送进总水管。

自来水厂根据水源的状况和水的用途以不同的方式处理水。水在净化以前，经常是先通过粗筛除去大的物体，然后进入一个大的水库。接着从水库中抽出水来输入混合槽。在混合槽里，将一种称为凝结剂的化学药品搅拌进水里，凝结剂与细菌、污泥、淤泥混合，形成称为絮凝物的胶黏凝块。然后水进入深而宽阔的沉淀池或者说沉降池。水缓慢地通过沉淀池的时候，絮状物沉到池底。机械刮板把它们从池底清除。

水的过滤

从沉淀池出来的水通过沙或其它多孔物质过滤。过滤池捕获留在水里的全部悬浮物。最常用的是快速沙滤池。池里的沙厚约 60 厘米～90 厘米，过滤池的面积是上万平方米。过滤池每天每 1 000 平方米能处理 11.7 万立方米水。

用沙过滤水比用机械过滤水效率高些。杂质逐渐在沙面上形成一个冻胶状的垫子。水从这里通过的时候拦住了细菌和悬浮物。使水逆向流动就可以清除聚集在那里的废物。有些过滤设备使用磨碎的无烟煤（硬煤）作过滤器代替沙子。

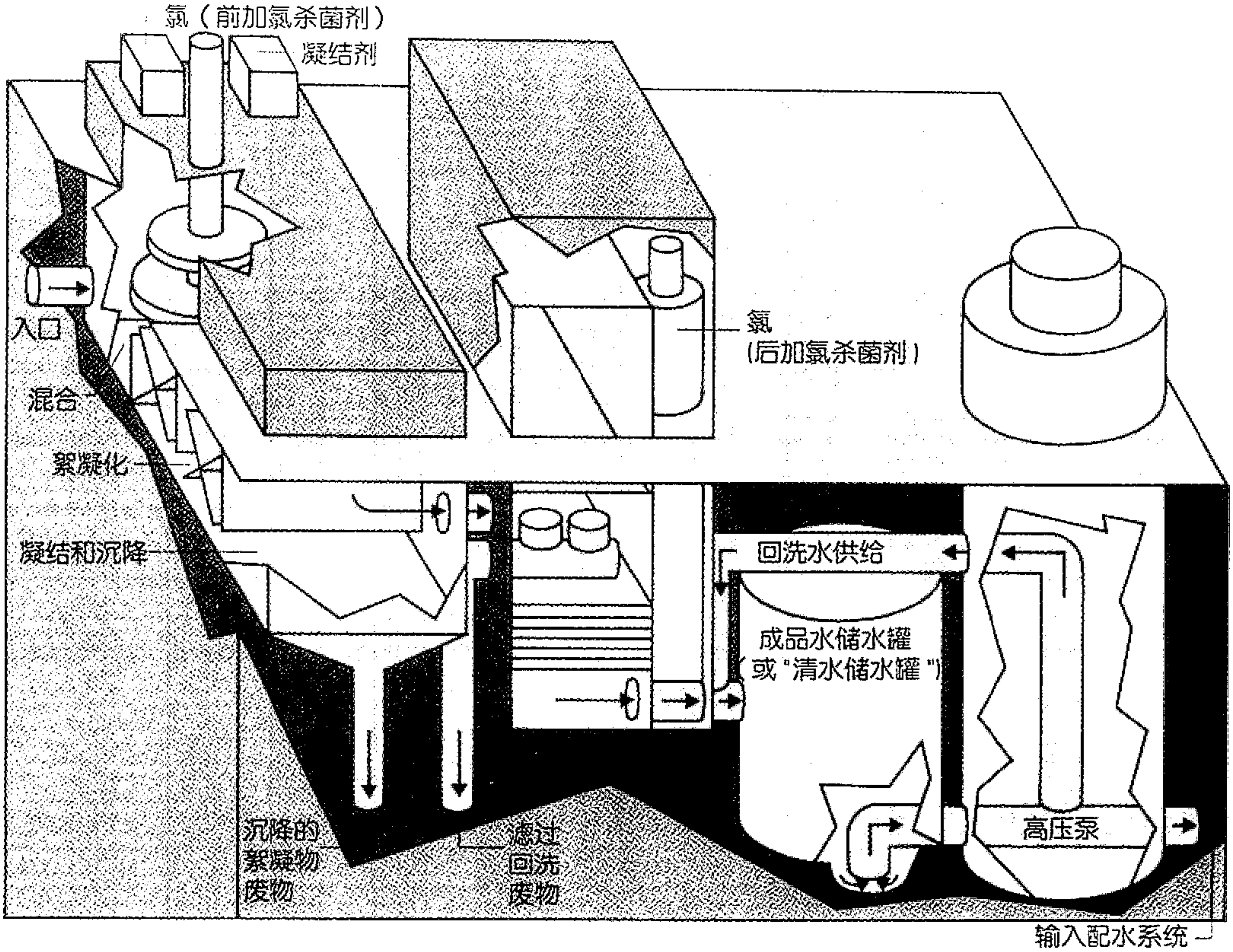
化学净化

许多供水系统没有复杂的过滤设备。而且病菌还可能通过过滤设备的净化装置。所以通常用化学药品灭菌，使水合乎饮用标准。最常用的灭菌剂是氯。微量的氯就能杀死病菌而对人无害。在已经除去沉降物的水里，加进去的氯只有水的千万分之一或二。有的时候，通过曝气处理，迫使水在压力下进入空气。空气里的氧使水得到一定程度的净化。

许多地方在自来水里加进少量氟化物，但是这种做法有时候引起争论。水里含有正确地调节数量的氟化物被证明是安全的，因为氟能限制口腔里细菌产生酸性物质，它还有助于减少儿童龋齿病例。过量的氟可能使牙齿出现斑点，虽然不是什么大问题，但也影响美观。

有些地区洗涤的时候要多用些肥皂，因为那里的水是硬水。硬水里含有某些溶解的矿物质，例如碳酸氢钙、碳酸氢镁和硫酸钙，这些矿物质使肥皂很难起泡沫。

大城市地区的典型的水处理厂



水从水源(例如一个湖)的入口送进管道,混合、凝结、絮凝化,然后送往自来水厂,通过过滤和化学处理进行净化。水经过处理后注入总水管,或者储存,或者分配给用户。

硬水软化方法之一的石灰-苏打法,可以除去水里的硬化矿物质。把石灰和苏打加进水里。它们与硬化矿物质化合形成碳酸钙之类的化合物沉淀下来。另一种方法是阳离子交换法,或者说沸石法,也是用化学的方法改变使水硬化的矿物质。先将硬水引入沸石罐。沸石是一种含有钠离子(带电粒子)的矿物。钠离子与钙或镁离子交换位置,形成不会使水硬化的钠化物。然后把含有钠离子和氯离子的盐水抽进沸石罐,补充失去的钠离子。钙离子和镁离子游离出来。它们与氯离子结合形成氯化物被排放出去。

用水清除废物

供水系统还必须清除来自居民住宅的废物和工业废物。巨大的下水道里的水把这些废物带走,排放在远离饮用水入口的地方。通常废物还要进一步处理,除去有毒的物质。

下水道还用来排放暴雨时的雨水,防止水淹了街道和住宅。很少从下水道里抽水,因为废物往往很大,会把抽水泵堵住。铺设下水道管道时有个倾斜的角度,便于污水凭借重力往低处流,从出水口流出去。

早期的水供应

供水系统的发展

人工运水　史前时期,小的村落供应的水可能是从溪流里提回来的。

灌溉渠　公元前4000年左右,在美索不达米亚首先挖掘水渠,用水灌溉农田。

井　公元前3000年左右,在莫亨朱达罗(今巴基斯坦境内)挖掘了排成行的深井。

吊杆　这是水泵的先驱。公元前1600年左右,人力吊杆首先在埃及使用。这种提水工具至今仍在埃及、印度和近东使用。

波斯水车　通常是畜力驱动的,大约在公元前200年开始用于近东,至今仍在使用。

阿基米德螺旋　这种提水螺旋是希腊科学家阿基米德于公元前250年左右发明的。

输水管道　许多早期的城市从邻近的水源用输水管道将水引入城市。公元前312年左右，罗马人建造了他们的第一条输水管道。

水泵　大约公元前190年，希腊人发明水泵，罗马的工程人员首先实地使用。

水泵和总水管　1582年在英国伦敦用水车从泰晤士河抽水输入总水管。18世纪末欧洲许多城市用蒸汽机抽水。

化学净化　1908年首次使用氯消毒城市用水。

现代输水管道　许多现代城市用长长的输水管道从远处的水源取水。390千米长的科罗拉多河输水管道向圣迭戈-洛杉矶地区供水。

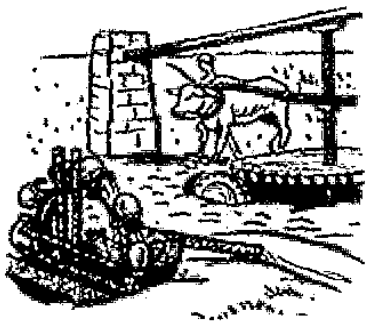
海水淡化厂　20世纪60年代一些国家兴建了实验性的海水淡化厂，将海水变为淡水。



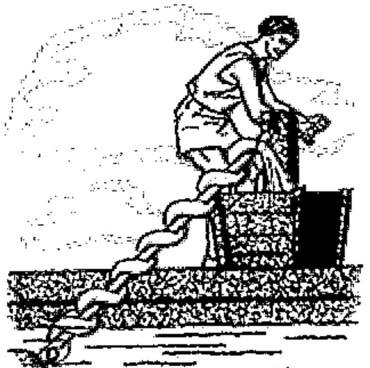
送水人



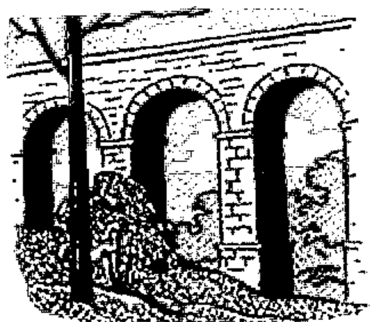
灌溉渠



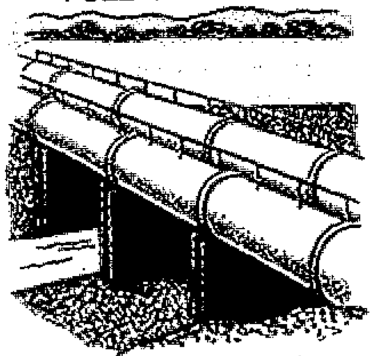
波斯水车



阿基米德螺旋



罗马输水管道



现代输水管道

史前时期的游牧民到处漂泊，寻找好的饮水处和绿色的牧场。他们的帐篷就搭在水边，附近的牧草耗尽的时候再继续流动。在沙漠里，例如撒哈拉沙漠，他们在绿洲附近住下来，这里有可靠的水源。今日的游牧民基本上还是过着这样的生活。河流和湖泊或许是人类最早的固定的水源。小的村落出现在靠近水的地方，人们用空壳、动物的颅骨或皮革制的袋子取水。

小的池塘和溪流干涸了的时候，人们明白了在河床和池底下面还有水，挖个浅浅的洞就可以够着水。更深的洞能达到更加稳定的地下水面，结果成为常年有水的井。

人们最后终于学会筑坝拦住河水形成水库，这就保证了水的持续供应。世界上许多早期的城市建造了露天的蓄水池接收和贮存的雨水。在地表水不足的时候，人们就使用贮存的雨水。这种接收和贮存雨水的方法至今仍在那些地表水不足的地方使用。

输水系统的发展

随着早期城市人口的增多，水的供应逐渐不能满足需要。埃及、亚述和巴比伦王国都挖掘了明渠将河水引往城市。城市受到敌人攻击的时候，往往因为存水耗尽而陷落敌手。公元前7世纪的时候，希腊萨摩斯岛的统治者下令在山里凿通隧道，将水引进他的城堡。在那个年代这是极其宏伟的成就。许多早期的城市修建了不同类型的输水管道系统，罗马帝国因为大规模地建筑优良的输水管道而闻名于世。有一段时期罗马有11条主要的用砖或石砌成的输水管道，为城市的喷泉、公共浴室和公共建筑供水。

原来罗马人在欧洲修建的许多供水系统在中世纪时期沦为废墟。城市供应的水受到限制，而且经常受到污染。这样的水常引发伤寒、痢疾和霍乱。1550年时法国巴黎的一个居民一天只能得到0.95升水。到1770年的时候供应增加了，但每人每天也只有2.4升水。

配水系统的发展

历史学家认为第一个现代化自来水厂是1582年在英国伦敦兴建的。这个给水工程把水抽到一个水库里，然后依靠重力迫使水通过木制的总水管。稍后，1613年新河自来水公司从城外不同的水源采水供应伦敦。1652年美国第一家私营的自来水厂建立于马萨诸塞州的波士顿。19世纪以前，美国有16个城市有了公营自来水厂。

早期的配水系统使用中空的圆木作为总水管。一段圆木的小头插进下一段圆木的大头。这种早期的自来水厂每天只有部分时间抽水。压力太小了，不能把水压到一层楼以上。积滞水可能渗进总水管污染供水。19世纪以前，已经用铁管代替木质的总水管。蒸汽机的发明及其应用于水泵带来了巨大的改进。今天自来水厂的巨大的水泵是靠电力或汽轮机带动的。像纽约市和加利福尼亚州的洛杉矶这样的大城市地区，要满足它们用水的需要，需要从整个流域抽水。

供水问题日益严重

有些地区，例如大湖周围的各州，拥有充足的水源，但是其他地区则要依靠河流、小的湖泊和水井。世界上许多地方充分供水的问题日益严重。例如有许多地方的夏季漫长而干旱，而有大的雨雪的季节却很短。这些大的雨雪造成的地表径流使河流泛滥成灾，工程技术人员只得加快水流入海的速度，避免造成大面积的破坏。

水污染使供水问题变得更加严重。未经充分处理的污水和工业废水流进水源降低了水质。来自工业或研究中心的水里的放射性物质发射有潜在危险的放射线。清洁剂、人造肥料和杀虫剂进入供水系统可能成为污染物。提高废物处理工厂的效率，开发诸如生物递解清洁剂等替代产品，

将有助于排除这些污染物。美国为了援助水污染控制项目,国会1961年扩充了联邦水污染法令的内容。

为保护水而奋斗

与世界上其他许多自然资源有所不同的是,水永远不会用完。科学家在探索使飘过干旱地带的云凝结为雨的方法。人类不再污染水源就可以有助于维护水的质量。

农民可以通过循等高线一行行地种植作物的方法保持土地的水分。这样挖掘的沟可以留住雨水,让雨水渗到地下而不是在土壤表面迅速流走。农民还使用现成的池塘以及筑坝拦截小河造成新的池塘,为自己和饲养的牲畜提供水源。还可以安装小型的过滤设备和氯化装置净化池塘的水。

在工业过程中重复用水,而不是在一次使用之后将已用过的水送回以致污染水源,用这样的方法也可以保存水。水域和水库也得到了改进,提高了它们保持水的能力。

来自海水的淡水

在争夺水资源日益尖锐的今天,人们更加关注普遍易得但因含盐无法使用的海水。脱盐是将海水变成淡水的过程。第一个以地面为基础的海水脱盐工厂是1949年在科威特建立的。从那个时候起,因为加大了脱盐工厂的规模,采用了更好的材料和方法,显著地降低了海水淡化的费用。如今世界上已经建立了1 500个以上以地面为基础的脱盐工厂。加利福尼亚和其他干旱的西部各州也面临建造这种工厂的需要。

可以用不同的方法除去海水里的盐。最广泛运用的方法是蒸馏。这种方法是加热海水使淡水蒸发,留下固体的盐。然后使淡水水汽冷凝,就可以获得淡水。有一种称为闪蒸的方法,把加热了的海水喷射进减压槽里。因为施加于液体的压力不断减低,液体沸腾的温度也不断降低,需要的热量减少,因此也减少了燃料的需要。

中东地区广泛使用薄膜脱盐法。全世界的淡化海水大约一半是在那里生产的。有一种薄膜法称为反渗透,盐水在压力下被迫压向薄膜。淡水透过薄膜,留下了浓缩的矿物盐。

泉 SPRING

这是在地球表面或者靠近地球表面的地方,地下水源的水从那儿冒出来的口子。泉是地下水排放到地表或者直接排放到河床、湖底或海底的天然排放点。冒出地表的水并没有形成看得见的水流的称为水潭。水井是为了取水而挖掘的深洞。

泉、水潭和井里的水一般来自雨水,是雨水渗到土壤里并且渗透到下面的岩石里的水。可渗透的岩石(具有互相连接的孔隙,水可能通过这些空间流动),例如石灰岩和沙岩能贮存和传送水,称为含水层。有些时候含水层里的水被封闭在两层不可渗透的岩石例如黏土或页岩之间。当这些岩石层倾斜或者折叠的时候,封闭在含水层低处的水承受着压力。如果压力很大,在地面上钻井,穿过岩石,和含水层连接,不用抽水泵水也会自己流到地面上来。这种井叫做自流井。

温泉的水温明显高于周围空气的平均温度。有些温泉位于火山附近。向上喷射高的水柱和蒸汽的温泉称为间歇泉(见:间歇泉和喷气孔)。有溶解了值得注意的数量的矿物质的泉水称为矿泉。泉水的水质取决于泉水经过的含水层和岩石层的类型,沿途的温度,以及过去和现在的循环水的量。

间歇泉和喷气孔 GEYSER AND FUMAROLE

火山是地球的一种裂口,由此喷发出熔融物质、固体岩石和气体,而喷气孔和间歇泉只分别喷放气体和水。非爆发性排放气体的火山处于活动的喷气期。喷气孔是火山活动末期的特征,沿着裂缝生成,或者形成明显无序的簇状或联成一片。喷气孔有时也按照其气体组成来命名,例如喷氯气孔。喷气孔虽然不猛烈,但是,如果含有有害烟气,则可危害人畜。

当某一地区内的火山活动停息时,火山下面地球深处的古老岩浆房中的火成岩可能保持炽热100万年以上。下降的地下水与热熔岩相接触时被加热,倾向于沿着断层或其他裂口重新上升到地面,即形成温泉。当水温至少高出平均气温8℃时,这些泉才称为温泉。虽然这些特征可如此分类,但是温泉的水温范围高达沸点。这些热温泉常特别富含矿物质,因为在温水中溶解比在冷水中迅速。据说,某些泉中所含的矿物质具有有益健康的性能。美国的成千上万的热温泉大部分在西部山区。

间歇泉(geyser)是一种温泉,连接着天然的管道和加热系统,后二者可引起水和蒸汽的间歇喷发。geyser一词来自冰岛语,意为"喷出"。几乎全世界的真正间歇泉——又称搏动泉或间歇喷泉——都位于冰岛、新西兰和美国。黄石公园有很多温泉和间歇泉。

间歇泉由于其经常的壮观喷发,将水和蒸汽高射空中而闻名。没有两个完全相同的间歇泉,对于供给任何一个间歇泉的地下通道系统的研究都很困难。但是,人们相信,间歇泉的地下构造包含一条弯曲管状的通道,从内部通到地面。可能有些小洞穴与此管道连通。地下水部分地充满该管道和一些连通的洞穴。被加热的水在压力下封闭在弯管内。连续加热使水温高于沸点,从而产生的蒸汽达到足够的压力,就将少量的水喷到地面。在初始高涨中喷出水后,使该管道中过热水的压力降低。压力的降低使剩余的水在某一地点爆发性地沸腾,向空中喷出一个水和蒸汽柱,称为喷泉水柱。这种喷发持续到该管道和储存洞穴中的水和蒸汽被赶出为止。

美国最著名的间歇泉——黄石公园旧费斯富尔间歇泉——的初始水柱向空中升起3米~8米。旧费斯富尔间歇泉的喷发间隔为30分钟-90分钟。据估计,每次喷发中约排放46立方米-55立方米的水,其中一部分在喷泉水柱中升起到35米-50米高度。该过程重复进行,只要有连续的地下水供应,相邻两次喷发之间有恒定的时间间隔。

温水间歇泉和温泉常易溶解某些矿物质,从而在某些地区可见某些特征岩石堆积。当地下水中所溶解的大量氧化硅被冲到地面时,则随着水的冷却,氧化硅从溶液中沉淀

出来。起初在间歇泉丘陵周围形成一种胶性物质，但是它最终固化而生成非晶形石英，称为硅华。

热水中所溶解的方解石到达地面后形成石灰华，又称滴水石。有时在间歇泉管道顶端的间歇泉环形山中的间歇泉口下面形成间歇泉池，可能十分美观，因为它们由于热水中溶解的矿物质而反射出不同的颜色。

自流井 ARTESIAN WELL 见：水

河流 RIVER

地球上的河流为人、植物和动物带来他们生存必需的水。河流还提供运输便利和水力。许多国家学会建造拦河坝利用河流的水力发电，例如伏尔加河上的一些水力发电站。河流还是塑造大地表面形状的基本的自然力。河流将剩余的水排进海里，把泥土和岩石沉积下来造出新的土地面积，它还浸蚀岩石。像尼罗河三角洲和美国大峡谷这样的自然界奇异景观，都是河流创造出来的。

河流与人类的活动

河流在许多方面促进了人类的文明。最早时期的人类在流淌着流水的江河边上建造他们的城镇和乡村。他们在这里找到水、食物、运输的方法，以及防御敌人的天堑。这些乡镇往往发展为主要的商业贸易中心城市。中东、印度和亚洲、欧洲以及南、北美洲的多数大城市都出现在各大陆的最大的江河两岸。

世界各地新的土地上的定居点都是沿着河流分布的。开拓者通常乘筏子或者船，或者沿着河谷的小道走，进入腹地。流淌的河水和溪水灌溉了土地并且使土地肥沃，肥沃的谷地成为良田。城镇地点被选在河流能够提供运输货物的便利、能够提供水力以便建造磨坊的这些地方。

今天人们也是依靠江河作为他们主要的供水来源。遍布各地的城市每天都需要大量的水供给工业和千家万户使用。产生几百万伏特的那些水电站为现代化的城市和农村地区提供能源。在干燥和半干旱地区，河水用来灌溉农田。

人们并不总是满足于让河流自己选择航道和流速。为了使这些自然资源发挥最大的效益，人们通过各项工程改造河流。他们把河流拓宽，挖深，变直，控制河水的速度和流量。工程技术人员建造水库、大堤、防洪堤控制洪水。这些工程防止洪水泛滥，减少洪水对周围城镇和农田造成的损害。工程技术人员还建造运河，在运河上筑有船闸和水坝，帮助在河上航行的船只通过瀑布和湍滩。在有的情况下他们开掘运河使河流与别的水体连接。美国和加拿大之间作为国境线的一部分的圣劳伦斯深水航道，就是这种工程的范例。这条深水航道是天然水道、加深的河道、船闸和运河的综合体，总长 3 769 千米。它使加拿大和美国的五大湖与大西洋互相连接，总共提供了 15 288 千米的通航水道。

人类的活动也可能损害河流。例如造纸这样的工业需要大量的水才能运转。这类工厂排放的废料和热水污染江河溪流，并且伤害或者毁灭依靠这条水道生活的植物和动物。许多河流被从周围地带进入水里的污水、化肥和杀虫剂污染。江河流域的草地和森林被破坏，加重了美国一些州的洪水泛滥问题，流水变得浑浊，湖泊里满是淤泥。有些地方为了控制洪水而修建了堤坝，实际上使情况变得更加糟糕。如果一条河的水流得太慢，河床里积满了淤泥，河变浅了，再也装不下那么多数量的水。结果是下大雨的时候，这条河应付不了增加的水量，河水迅速越过两岸，水淹没两岸的速度比没有修建堤坝的时候还要快。

河水怎样流动

河流开始的时候只是顺坡流淌的涓滴细流。降雨、降雪、泉和冰川融化的水可能是它的源泉。当它往山下流的时候，与别的涓滴细流汇合成为小溪。另外一些小溪的水再加进来，形成大一些的溪，它再往宽里长，成为一条小河。水继续不断地往下流，它的水量不断增大，直到最后成为一条河。

河在行进过程里，接受支流的水。河和它的那些支流构成一个河系。河系排水的范围就是它的流域。把邻近的流域分隔开来的山岭称为分水岭。

河流也接受地下水，这不是地面径流，而是渗透到地下的水。这种地下水，以及有时候地下泉的水，持续不断地流



河流及其流域的一些形态特征，例如支流和河谷，一路上会出现多次。河流最后到达河口的时候，河面越来越宽，水流越来越缓慢。

进河里。(见:泉)

差不多所有的河流都有上游、中游、下游。它们各有各的特点。上游起源处海拔较高。这一段的河比较窄小,往往水流急湍翻滚,在多岩石的丘陵和山上切割出狭窄的水道。急湍的水流可能卷走大块的砾石。当河水切破松软的岩石层,剩下坚硬或者能够抵抗水的力量的岩石陡崖的时候,就出现了瀑布。在倾斜的岩石河床上形成了湍滩。如果一个地区里坚硬的岩石构造是沿着一条明确的线分布的,所有穿过这条线的河都会有瀑布,这条线称为瀑布线。河流到达平地或者低凹的区域会形成湖泊(见:湖泊)。在几万年甚至几百万年的时间里,河水浸蚀或者冲走土壤和岩石,切割出峡谷或者是深深的V形谷。究竟形成哪一种类型的构造,取决于河水的力和它浸蚀的岩石的类型。(见:峡谷;谷)

河水向下流到海拔较低的地方,在它的中游坡度不大的土地上缓慢地流动。河水的力量不再能带走石块或者砾石。石块和砾石沉积到河床里,形成沙洲或砾石洲,或者造成岛。随着河流沉积物质或者浸蚀物质,这些构造的形状继续不断地发生变化。反过来它们也影响河流,使河流改变航道。河水冲击河岸,一段时期摆向这一边,一段时期又摆向另一边,河岸渐渐被切割,使V形谷变宽成为U形谷。例如美国地质年代比较年轻的西部各州V形谷更为普遍,地质年代较为古老的中部和东部各州则可以见到U形谷。

河水到了下游,遇到的是更加平坦的缓坡。它沉积的物质比在中游时更多,不再像过去那样冲刷河床(河底刷深),而是把河床抬高(加积)。河谷已经被浸蚀成为宽阔的平原。河流摆动成S形曲线,出现称为河曲的一个个环。

发生洪水的时候,洪水可能切开环的狭窄部分,形成新的缩短了的水道。这个留下来的环就成为称做牛轭湖的湖泊。河的水平面下降,露出一个个沙洲或者砾石洲的时候就会出现辫状水道。单独的河曲水道在急弯的地方可能形成辫状下游水道,粗的物质从河底翻腾上来形成沙洲或者砾石岛。辫状河典型地出现于陆冰的边缘或者像新西兰南岛的坎特伯雷平原这样的平原。

有时候大雨或者融雪从河的上游或中游直冲到下游的浅水河道。河水泛滥到周围地区,留下一薄层沉积物。发生这样的事情可能有季节性,例如尼罗河每年一次的洪水泛滥;也可能是偶然的,例如有的地区出现少见的大雨或融雪的时候的洪水泛滥。如果洪水是按季节发生的,后来沉积物积聚得多了,形成广阔的肥沃的河漫滩,例如密西西比河和尼罗河沿岸的河漫滩。淤泥和沙大部分落在水道边上,形成宽阔的河堤。到后来河水可能在比平地还高的河床里流动。河漫滩肥沃的土壤吸引人们来这里居住,但是洪水也能毁坏河边的庄稼和财产。为了保护平原,工程技术人员可能挖走聚集在河床里的沉积物,加深河道,也可能建筑堤坝使河流涨水时不至于泛滥。

河水流到大海的时候,把水里剩下的淤泥、砾石和沙等负担都卸在河口附近。这些东西堆成的不停地越堆越大的三角形地带,称为三角洲。河流在这里分成若干汊道,各自流入海洋(见:三角洲)。淡水和盐水的混合往往长出一些独特的植物和动物。要是一些河口分汊被淤泥堵塞,或者长满了植物,河流会开辟新的汊道,加大三角洲。要是在一个河口地方的海岸下沉了,海水将流进河流的低凹地带,这样就出现了沉溺河口。圣劳伦斯河河口就是一个沉溺河口。

三角洲 DELTA

在希腊语里 Delta 这个字母相当于英语字母 D。在印刷品中它是一个等边三角形(△)。古希腊历史学家希罗多德用这个字母的名称来称呼那些与这个字母的形状相似的、在河流人海口处由沉积物淤积而成的地势低洼的平原。

世界主要三角洲

河系	国家	面积(平方千米)
恒河一布拉马普特拉河	孟加拉国	59 600
湄公河	越南	50 000
尼日尔河	尼日利亚	36 300
密西西比河一密苏里河	美国	26 200
勒拿河	俄罗斯	25 900
奥里诺科河	委内瑞拉	24 600
尼罗河	埃及	20 200
伊洛瓦底江	缅甸	19 900
拉普拉塔河一巴拉那河	阿根廷	14 200

河水常常携带着大量泥沙和其他悬浮物。溪水流得很急的时候,强有力的水流侵蚀两岸的土地,把泥土顺水带走。江河的水流得慢时,部分泥沙沉积下来。江河汇入大海的时候,流速骤然减缓,沉积物下降的速度比河水在两岸之间从容通过的时候快得多。在几个世纪的时间里,河口的沉积物淤积成一般说来是扇状的平原。

三角洲逐渐变大,河流被淤积成堆的沉积物拦阻。河流因此分汊,成为称做河口分汊的网状的若干小的支流,然后流进大海。

希罗多德在埃及观察尼罗河三角洲的时候,给这种地貌取了这个名字。但是三角洲不见得都是三角形的。它有三种主要的类型,每种三角洲的形成都取决于波浪、水流、泛滥情况、地质构造和其他一些因素。弓形三角洲基本上是三角形的,其中最著名的是尼罗河三角洲。鸟足形三角洲是河流流向海洋时沿着河的分支造成的凸出部分构成的。美国新奥尔良的密西西比河三角洲是这一类型的代表。尖嘴形三角洲,例如意大利的台伯河三角洲,它有类似使河道延伸的防波堤那样的两个尖嘴或者说两只角。

河流挟带着大量悬浮物而海面又平静的地方最容易形成三角洲。在那些潮汐和沿岸流比较强的海里,沉积物刚刚沉积下来就会被海水冲走。亚马孙河有一个很大的水下三角洲,但是潮汐和波浪使沉积物总也堆不到海平面那么

高。在北美洲的大西洋海岸线上没有三角洲，因为那里的陆地在晚近的地质年代里下沉或者说沉没了。圣劳伦斯河和哈得孙河的河口有称为三角湾的海湾，没有三角洲。

三角洲的土地总面积可以很大，有时候有几万平方千米。孟加拉国的恒河-布拉马普特拉河系有世界上最大的三角洲。其次是越南的湄公河三角洲。

从史前时期起，三角洲就对人类有很重要的意义。事实证明洪水堆积的淤泥和沙土是非常肥沃的。随着人类农业方面的智慧和才能的增进，大文明终于在尼罗河、底格里斯河-幼发拉底河、印度河和黄河的三角洲平原上产生和繁荣兴旺。巨大的恒河-布拉马普特拉河三角洲区域几个世纪以来哺育着庞大的农业人口。荷兰大片肥沃的农田和城市都在莱茵河三角洲上。

三角洲地区普遍存在的错综复杂、相互连接的航道，提供了交通和贸易的天然途径。河口使远洋航轮易于进入内陆港口，世界上许多大的港口城市都在三角洲平原上。例如埃及的亚历山大和美国路易斯安那州的新奥尔良都是繁荣的港口城市。

世界上大多数三角洲地区还没有充分开发，以发挥它们全部的经济潜力。湄公河三角洲因为那里的水稻的集约栽培而成为著名的东南亚粮仓，但是20世纪60年代和70年代政治和军事的剧烈动荡推迟了强化利用这块肥沃地区的计划。其他处于热带的大三角洲例如南美洲的奥里诺科河三角洲和非洲的尼日尔河三角洲，实际上都保持着原来的状态，还没有开发。

瀑布　WATERFALL　溪水或者河流流到悬崖峭壁上方突然跌落的时候，就形成了瀑布。典型的瀑布是说溪水或河流跃过悬崖峭壁，在空中自由降落，直到最后撞到河床底层。巨大的瀑布称为大瀑布。大瀑布气势雄伟、美丽壮观，被列入地球上最令人敬畏的自然奇观。

规模较小的瀑布称为小瀑布。产生小瀑布的地方，河床并不是垂直地落下，而是一层一层逐渐下降的坡，溪水短距离地跳跃，从坡上的一块岩石落到另一块岩石上。如果河床的坡度更小，也可能出现湍滩。

瀑布通常是河床里岩石阻力大小的差异造成的。溪流侵蚀质地松软的部分，留下坚硬的岩石形成悬崖峭壁，河水流到它的上面猛然跌落，形成瀑布。有些时候其他的力，例如冰川或者地震，也会在河流的道路上造成峭壁。因为瀑布的形成有这么些差别，它在外观上有很大的不同，有高的窄的瀑布，也有低的宽阔的瀑布。

世界上最高的瀑布是委内瑞拉的安赫尔瀑布。这是从979米高处的悬崖峭壁落下来的一条细长的河。它被包围在几乎无法进入的密林里，多年以来只能从飞机上看到这条飞落的水的银带。

孔瀑布是老挝和柬埔寨边境湄公河上的一系列大瀑布，它是世界上水量最大的瀑布。每秒钟的流量达到9 500 000升，几乎是尼亚加拉瀑布的一倍。这个大瀑布的双重沉积段是阻力大的玄武岩河床造成的。河水从它上面跌落14米，落到下面海拔82米的水潭里。

尼亚加拉瀑布是横跨美国和加拿大边境的著名大瀑布，它以宽度大、水量大以及水质清澈美丽闻名于世。它的两个分支在人们面前呈现宽约1.6千米的水从天而降的奇观。五大湖的四个湖的湖水永不止息的碧绿、蔚蓝和象牙色的洪流进入瀑布，悬崖峭壁上发出雷鸣般的响声。

冠岩瀑布

尼亚加拉瀑布是冠岩瀑布。这是瀑布中最普通的地质类型。它出现在松软的岩石层上有坚硬的岩石构造的地方。在尼亚加拉的悬崖约有49米高，它最顶上的一层是坚固的石灰岩，厚约18米。甚至五大湖的湖水通过悬崖飞泻到下面的安大略盆地的巨大的水流也没有侵蚀这个顶层。锋利的峭壁依旧岿然屹立，创造了这个雄伟壮丽的大瀑布。

然而，在坚硬的顶层下面的松软的页岩层却被向下飞泻的瀑布的反冲所侵蚀。这就切断了顶层的支撑，因此经常会掉下来大块岩石。瀑布就这样逐渐向上游移动，身后留下深深的峡谷。例如尼亚加拉峡谷说明瀑布已经从原来的位置向上游移动了11千米。

非洲的大瀑布维多利亚瀑布

赞比西河上的维多利亚瀑布的地质构造使它成为世界上最不寻常的大瀑布。这个瀑布宽约1.6千米，坐落在赞比亚和津巴布韦两国之间。

赞比西河与别的河不同，在接近大瀑布之前它没有急流，无法警告河上的游人前面已经逼近悬崖。赞比西河水浅，河面宽阔，在到达瀑布的边缘之前，它一直都是缓慢地流动的。然后它突然出其不意地从108米高的悬崖上飞身而下，发出如雷般的声音。

这条河看起来似乎是掉进地球的一条深深的裂缝里去了，因为一道高耸的山峡的石壁站立在瀑布对面，它靠得那么近，以至于把瀑布的下面的部分都遮住了。山峡的石壁只有一个狭小的通道出口，这一道石壁像水坝似地挡住向前冲撞的激流，把水流冲向后退，向上跃起，造成维多利亚大瀑布独特的水花飞溅的景观。空中升起水雾形成的一根根柱子，雾里映着彩虹。洪水季节，在11千米以外的地方都能看见这些雾柱。

水从山谷的出口冲出来之后，通过奇形怪状的之字形的峡谷，在旋涡和湍滩间翻腾。这个之字形的岩石水道和悬崖都是从一个断层，或者说是从地球表面的深的裂缝发育形成的。

赞比西河在坚硬的玄武岩构造的高原上流过的时候，没有侵蚀出深凹的河床。但是当河水开始流过断层的时候，水流逐渐把之字形裂缝里的松软的岩石碎块带走了。断裂缝隙被侵蚀得越来越深。今日峡谷石壁已经高出河面640米。

黄石瀑布的石坝

黄石国家公园的上、下两瀑布代表第三种类型的瀑布。它在橙红色的峡谷里，衬映着黄石河奔腾的流水飞溅起来的白色泡沫，成为一个著名的旅游景点。下黄石瀑布是两个瀑布里更加突出的景观，高94米。

这些瀑布的形成是在黄石河侵蚀河床到达熔岩岩脉

的时候开始的。这些坚硬的岩石从深处一直向上延伸到地球表面。最初上游和下游河水以相同的速率侵蚀岩脉中松软的岩石。随后岩脉开始像个水坝似地横埂在河里。它使上游河水水流速度减慢，侵蚀停止。下游的河水继续强有力地越过岩脉，愈加侵蚀河床。于是瀑布就越来越高。

因为岩脉深入地球内部，它的下面又没有松软的岩石层，这种类型的瀑布就不像冠岩瀑布那样从底部切除。因此它不向上游后退，即使后退也退得很少。

悬谷瀑布

还有一种瀑布是冰川槽谷在主河道峡谷里发育而成的。加利福尼亚州的约塞米蒂国家公园峡谷的7个瀑布就是悬谷瀑布。其中有一个称为里本瀑布，是北美洲最高的瀑布之一。里本瀑布地处内华达山脉西坡，它的水来自融化的冰和雪，落差491米。约塞米蒂瀑布的水来自高悬的支流。河水进入的这段河谷一度被冰川挖深。冰川退却后，没有受到侵蚀的支流峡谷便高高在上地留在主河谷的上方。现在水从支流向下飞跃进入主河道。

其他著名瀑布

南美洲许多大瀑布奇观之一的圭亚那的凯厄图尔瀑布，是一个非常美丽的高251米的冠岩瀑布。另外一个大瀑布是阿根廷一巴西边境线上的伊瓜苏大瀑布，宽度超过3千米。在悬崖峭壁上的一个个岛状物把落下来的激流分割成数不清的小瀑布。

欧洲没有大流量的瀑布，但是却有非常高的瀑布从阿尔卑斯山和比利牛斯山的高耸的悬崖峭壁上倾泻下来。挪威有许多可爱的瀑布像一条条花边挂在峡湾的峭壁上。

世界著名瀑布

以高度著名

名　称	地　点	高度(米)
安赫尔瀑布	委内瑞拉	979*
图盖拉瀑布	南非	948*
姆塔拉济瀑布	津巴布韦	762*
约塞米蒂瀑布	美国	739*
库克南瀑布	委内瑞拉	610
苏瑟兰瀑布	新西兰	580*
基莱瀑布	挪威	561
卡希瓦瀑布	美国	533
马尔达尔(东)瀑布	挪威	517
里本瀑布	美国	491
乔治六世瀑布	圭亚那	488

以水量著名

名称	地点	每秒流量(立方米)†	高度(米)
孔瀑布	柬埔寨-老挝边境	11 600	14
尼亚加拉瀑布	美国-加拿大边境	5 500	49
保罗-阿方索瀑布	巴西	2 800	84*
乌鲁布蓬加瀑布	巴西	2 750	12
伊瓜苏瀑布	阿根廷-巴西边境	1 700	82
维多利亚瀑布	津巴布韦-赞比亚边境	1 100	108
丘吉尔瀑布	加拿大	1 000	75
高韦里瀑布	印度	900	98*
莱茵瀑布	瑞士	700	24

* 表示几次跳跃的总高度

† 平均年流量

丘吉尔瀑布(旧称大瀑布)是拉布拉多的知名度不高的大瀑布，在加拿大的崎岖不平的荒野地带构成壮丽的景观。澳大利亚有一系列的高瀑布，其中包括沃洛蒙比瀑布和斯托尼克里克(沃拉曼)瀑布。

瀑布的重要性

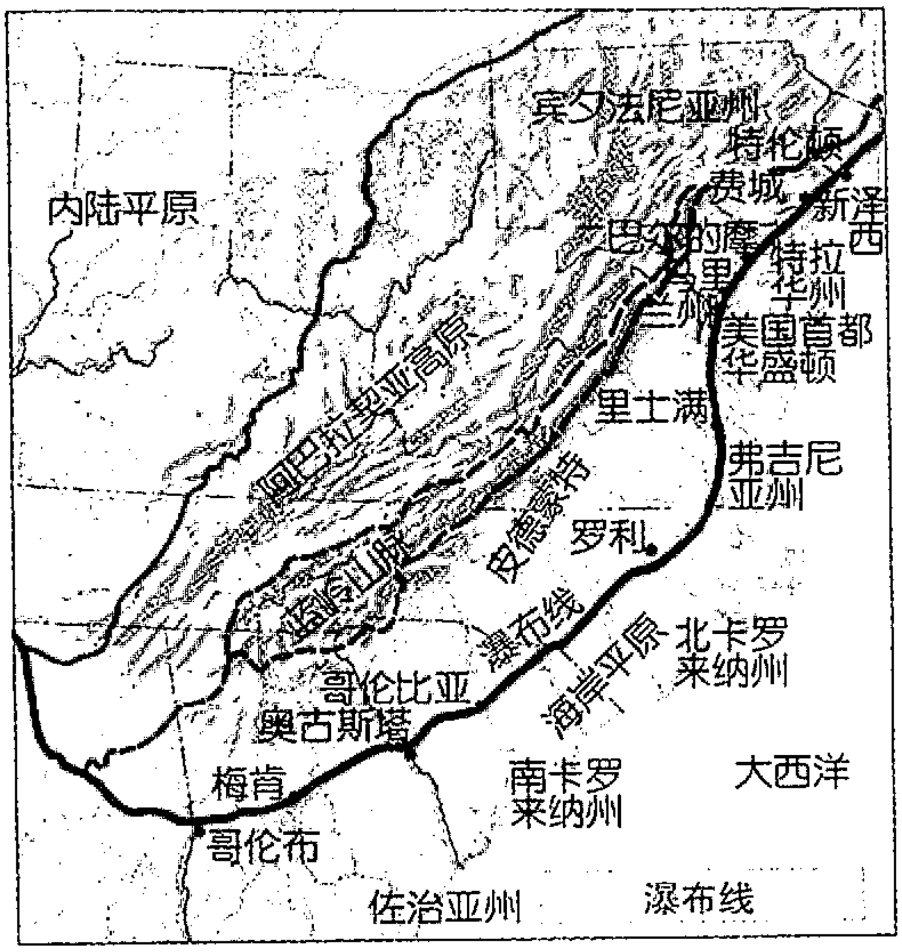
瀑布附近强有力的水流常常被利用来发电。今天尼亚加拉瀑布的水已经有许多用来水力发电了。有的时候因为水力发电利用的水量如此巨大，以至于大大地减弱了瀑布。

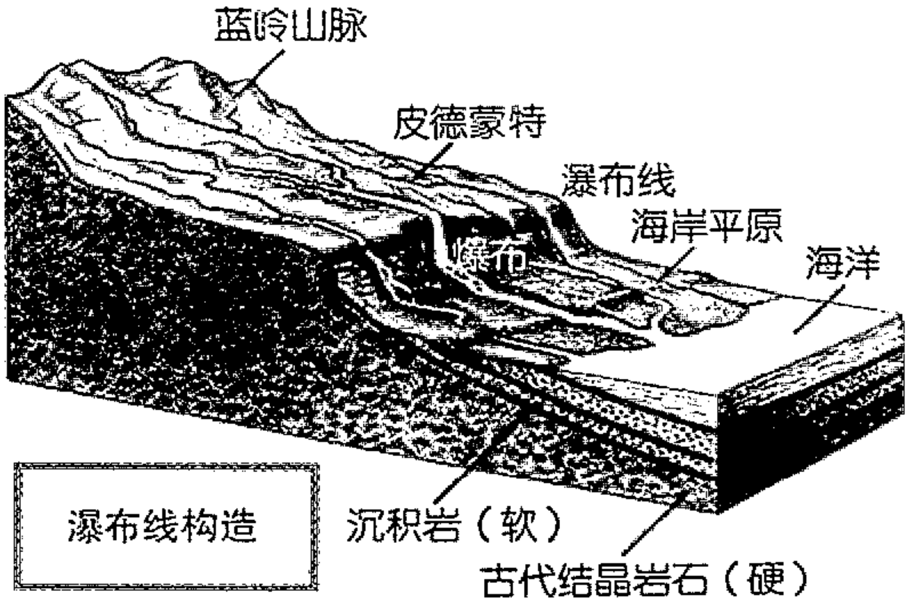
因为瀑布使航行受到阻碍，所以有的时候它也有不利的一面。从前许多城镇建立在靠近瀑布的地方，因为它标志着水陆联运的起点，船只运来的货物要在这里换用马匹或者其他陆地运输工具转运。

瀑布线　FALL LINE　若干瀑布沿着大约平行的若干河流分布而形成的一条线，称为瀑布线。瀑布线常见于高原边缘和山麓，那里的溪流从耐蚀岩石流向下面较软岩石的平原。瀑布线标志着航行的起点或者船舶从河口可到达的内陆界限。非洲、西澳大利亚、巴西、印度和美国东部都有绵长的瀑布线，将狭窄的海岸平原与其内陆地盾隔开。

美国的瀑布线标志着平坦的大西洋海岸平原与阿巴拉契亚高原的皮德蒙特波状高原的会合处。溪流从阿巴拉契亚高原途经一些急流和瀑布而到达海岸平原。这个地区的主要河流包括特拉华河、斯库尔基尔河、帕塔普斯科河、波

托马克河、詹姆斯河和萨凡纳河。许多城市沿此边界建立，因为这些瀑布提供工业所用水力。其中有新泽西州的特伦顿；宾夕法尼亚的费城；马里兰州巴尔的摩；美国首都华盛顿；弗吉尼亚州的里士满；南卡罗来纳州的哥伦比亚和佐治亚州的奥古斯塔和哥伦布。





湖泊　LAKE　湖泊的科学技术定义为被陆地包围的内陆水体。它大于池塘。但是，此词有时也指河流的扩大部分和直接连接海洋的水体。例如，濒海湖常形成于波浪和滨流穿过海湾或宽阔河口时所构成的沙洲处。大的河流可能外延三角洲的一臂，从而围成一个水域。路易斯安那州的庞恰特雷恩湖属于这种成因。所有这类濒海湖均较浅。

在全世界的湖泊中，因冰川作用而形成的多于按其他方式而形成的。在北半球的冰期中，大片的冰川冰缓慢地向南流过北美的北部、欧洲和亚洲，携带着大量从冰川下面的岩石表面刮下的碎石和岩屑。在较软弱的岩石区冰川刨出很多盆地。其他盆地是在冰河留下一部分岩屑处形成的，这些岩屑筑坝拦阻过去的河谷。今天，加拿大中部、明尼苏达州、密歇根州和威斯康星州及类似的冰川区内的无数湖泊，主要都位于这类称为冰碛盆地的盆地中。

某些大湖是过去冰川的大规模侵蚀和大量沉积的结果。纽约州西部的芬格湖群位于被冰刮得更深和被冰川沉积筑坝拦阻的旧河谷中。北美的五大湖位于古河谷或低地中，其边缘由称为冰碛的冰川沉积所构成。五大湖覆盖约245 000平方千米，形成一条大型的内陆水路和世界上水域最大的淡水湖。苏必利尔湖是面积最大的淡水湖。只有咸水湖里海大于它。

湖泊的另一成因是通过火山作用而形成。在世界许多地区，由死火山口形成小型湖泊。法国南部的奥弗涅地区、德国北部的艾费尔地区和意大利罗马周围的地区有许多这样的例子。有些火山的顶峰已在巨大喷发中被吹掉，或者是火山中心塌陷，留下大坑或称破火山口，从而形成湖泊。阿拉斯加的卡特迈火山在1912年猛烈爆发，形成一个大坑，直径4 000米，深900米。从此以后，其底部形成一个1 600米宽的温水湖。另一个这样形成的非常美丽的湖泊是俄勒冈州南部的火山口湖。它深589米，深蓝色。

过去，海底的有些部分上升而形成陆地。这些地面上的浅而不规则的盆地残留下来而形成湖泊。降雨时用淡水补充原来的盐水，它们就成为淡水湖。佛罗里达州的南部和西伯利亚冷原的一些湖泊也是按此方式形成的。

咸水湖和淡水湖

不是所有的湖泊都蓄存淡水。死海是一个很咸的湖，位于以色列和约旦的下陷狭谷中。其水面在海平面以下401米，是世界最低的湖。世界最高的通航湖是的的喀喀湖，位于秘鲁的安第斯高原，海拔3 810米。另一个咸水水体是犹他州的大盐湖，它是过去的一个比现在大得多的、称为邦纳维尔湖的淡水水体的残余。该淡水湖因气候变得干燥而缩小，湖水就开始蒸发。各个支流所带来的所有溶解的盐分缓慢地浓缩在越来越少的水中，因此它的水逐年增咸。这个过程仍在继续进行。这些咸水湖有一个新特点，就是对游泳者提供的浮力；在死海或大盐湖中漂浮，要比在淡水湖中容易得多。

地球上大部分淡水——根据科学估计，可能超过$\frac{4}{5}$——束缚在冰川、极地冰盖和地下水中。在可用的湖泊

淡水中,约有 125 000 立方千米即$\frac{4}{5}$存在于少数的湖泊中,数目恐怕不到 40 个。中亚的贝加尔湖是地球上最深的内陆水体,最大深度为 1 620 米,蓄有地面淡水的$\frac{1}{5}$左右。次大的湖是非洲的坦噶尼喀湖和北美的苏必利尔湖。位于北美的大湖,其五个湖共蓄水约 22 900 立方千米,略与一个贝加尔湖相同。

作为有限资源的湖泊

现代的工业社会大量需要一些淡水湖。湖水通过水道送往人口中心,以供饮用和洗浴。它用于各种制造过程、发电、灌溉和娱乐中,并用做核电站的冷却剂。在许多这类应用中,产生了严重的水污染问题,主要因有不洁的废水返回原湖和向湖中倾倒大量有害化学品及其他废物而引起。

热污染——湖水升温——被认为是湖泊未来面临的主要危险之一。热水的主要来源是现代的发电厂,后者用水冷却部件,在该过程中同时将水加热。现代社会对电力的需求以每年 7%的速率递增,即使是较大的湖泊,也在加热问题上受到很大的关注。

大量的化学污染和热污染,最终可能通过破坏湖中所有的动植物而毁灭湖泊。研究湖泊的人——湖泊学家——研究湖泊的物理、化学和生物学性质。他们最紧迫的当前工作,是评价每天流入湖泊的各种大量污染物所造成的损害。

半岛 PENINSULA

三面临水的一片陆地称为半岛。这个词来自拉丁语 paene insula,意思是"差不多是一个岛"。美国的佛罗里达州是最明显的半岛。阿拉斯加也符合这个定义,尽管它非常之大,而且自身还有许多半岛。东海岸的特尔马伐半岛(由特拉华、马里兰和弗吉尼亚三个州名合成)位于切萨皮克湾和大西洋之间。墨西哥有两个著名的半岛——东部的尤卡坦半岛和西部的下加利福尼亚半岛。

世界上最大的半岛是阿拉伯半岛,面积约为 260 万平方千米。它的西面是红海,南面是亚丁湾和阿拉伯海,东面是波斯湾和阿曼湾。欧洲有一些半岛。挪威和瑞典形成一个半岛,丹麦又是一个半岛。南边还有意大利、伊比利亚半岛(西班牙和葡萄牙),以及希腊的伯罗奔尼撒半岛。远东的半岛有东南亚半岛、马来半岛,以及朝鲜半岛。乌克兰的主要半岛是黑海的克里米亚半岛,俄罗斯的主要半岛是远东北部的堪察加半岛。

岛屿 ISLAND

任何一片完全被水包围的陆地都被认为是一个岛屿。这个定义的例外是,如果这片陆地具有大陆那么大的面积,例如澳大利亚,它就被认为是一个国家大陆,而不是岛屿。冰岛也是一个国家,只因为它小得多,仍然被认为是岛屿。海洋、湖泊、江河里都可以有岛屿。岛屿连接成串的称为群岛,又称岛屿链,或者叫岛弧。

岛屿可以分为海洋岛和大陆岛。海洋岛是从大洋洋底升出洋面的岛屿。这种岛屿通常都是火山岛:往往要经过很长一个时期,使熔岩积聚得异常厚实,最后突破洋面。(见:熔岩和岩浆)。夏威夷群岛就是通过这种方式形成的。

1963 年 11 月到 1967 年 6 月期间,在冰岛海岸线以外,火山活动造出了一个名为苏尔采的新岛屿。这个新生岛屿面积为 2.6 平方千米,海拔高度 170 米,从海底算起高度为 290 米。夏威夷的熔岩堆积从洋底起算高度为 9 750 米。

大陆岛与大陆相连或者位于大陆内部。它们是大陆架的隆起部分,大部分隐没在海面以下;至于湖中岛或者江河岛屿则是大陆内部被水淹没后剩下的隆起部分。格陵兰面积约 2 175 600 平方千米,是世界上最大的岛屿,它的组成物质与北美洲大陆是一样的,表明二者在海里是互相连接的。与此类似的是世界第二大岛,新几内亚岛,它是与澳大利亚相连接的。其他的主要的大陆岛屿还有大不列颠岛、纽芬兰岛,以及马尔维纳斯群岛。佛罗里达群岛从佛罗里达州向南伸展,只不过是该州的延伸部分。

位于得克萨斯州沿海的帕德勒岛,以及与佛罗里达东海岸平行的群岛是离岸沙岛。这种类型的大陆岛是由于风力和水流作用把过去与大块的陆地之间连接的地方淹没后形成的。

在江河岛屿之中最著名的大约要数纽约市的曼哈顿岛了。它的西边是哈得孙河,东边是东河,东北面是哈莱姆河以及斯普尤登-杜尤维尔河,南边是上纽约湾。曼哈顿总面积为 57 平方千米。世界上最大的江河岛屿在巴西,是亚马孙河口的马拉若岛。岛长 295 千米,宽 200 千米,面积 49 000平方千米。

岛弧是逶迤弯曲的链状群岛。它们位于世界上地震和火山活动最剧烈的一些地区。除了东印度巽他群岛和西印度(加勒比海)岛弧,以及南大西洋的斯科舍岛弧之外,其他所有的岛弧都在太平洋海盆周缘地带。其中主要的群岛有阿留申群岛、日本群岛、琉球群岛、马里亚纳群岛、菲律宾群岛、新不列颠岛-新几内亚岛、所罗门群岛,以及新西兰。由于地理构造相同的缘故,地球上有一些地方虽然不是岛屿,却往往被归入岛弧的范畴,例如中美洲、意大利,以及喜马拉雅山脉南部前缘。

除了明显的引人注目的外貌之外,岛弧还有一些其他的特征:沿弧的凸面一侧有狭长的深海海沟;一连串的火山链形成岛弧的许多岛;上升海滩;表明不久前地质活动的被翻抬上来的、褶皱的、破裂的地层和岩石层。

大陆内部的或者近海的岛屿上的动物和植物一般都是这个大陆上生长的动物和植物的代表种。然而,在比较孤立的海岛上栖息的动物则往往只有少数几种。这些海岛上通常植被繁茂,植物的种子最初可能是风、水流或者鸟类带来的。但是岛上的植物种类一般并不太多。

海洋学 OCEANOGRAPHY

在太阳系

九个行星里，地球是惟一拥有可观数量地表水的行星（见：行星）。大约71%的地球表面为海洋所覆盖，世界上半数地方覆盖着的水深度在3千米以上。世界上98%以上的水在海洋里，其余的水大多在冰川里。（见：冰川）

海洋学是有关海洋的各个方面，海洋的边界、海洋的内容的科学研究。这些研究包括海洋的物理性质、化学成分和矿物成分和生活在海洋里的形形色色的植物和动物，以及海洋底部的地质构造。海洋学还涉及海洋的技术的和经济的潜力。

海洋的矿物资源

海洋起着无比巨大的污物坑的作用——大陆的全部沉积物和垃圾都倾泻进了海洋。海水里含的某些元素已经成为对人类有用的东西。经常从海洋中提取氯化钠或者说食盐，以及轻金属镁。海水转化为淡水的海水淡化技术的发展也取得了进展。

海洋底部是矿物的另外一个来源。磷钙石沉积物主要由磷酸钙组成，覆盖着部分海洋底部。金刚石、金、锡、铁和硫磺从浅水沉积物和海滩上开采。石油和天然气在大陆架海底开采。

锰结核覆盖大部分洋盆。它是由围绕一个核，例如鲨鱼的一个牙齿或者一块火山灰的周围的化学沉淀造成的。它的成分主要是一层层交替出现的氧化锰和氧化铁。锰、铁、铜、镍，以及钴也以浓度不一的高浓度状态存在（见后面的表）。

洋底勘探

早先建立海洋法的企图在几届联合国海洋法会议(UNCLOS)后终于得以实现。1958年在瑞士日内瓦召开的第一届联合国海洋法会议上，86国代表制定了4个有关大陆架、公海、领海与毗连区以及公海渔业和生物资源养护的公约。

公约涉及例如某些关于大陆架领海的定义这样的有争议的问题。许多细节的规定受到反对。在300个有发展潜力的领海或者大陆架边界中，不到25%的边界在20世纪80年代后期已经议定。其余仍有争议，或者在谈判之中，或者还没有讨论。大多数是划分毗邻国家大陆架的边界。

美国是第一个将大陆架的自然资源置于国家的管辖与控制之下的国家。然而许多国际法学家坚决主张这种管辖权不包括对航行、捕鱼或者科学探究加以限制的权力。深海海床超出了大陆架的范围。任何国家都不能宣布这个广大的地区属于自己。它的合法地位尚未确定。

1982年第三届海洋法会议通过了保护第三世界国家领海权益的公约。美国、苏联以及其他一些国家没有接受规定。直到后来达成了妥协方案，美国、德国和日本补充了单方承担义务的采矿法。

海洋学方面的机遇

在科学研究机构和对海洋感兴趣的工业公司里，有许多研究海洋学的就业机会。海洋学研究人员通常具备物理学、化学和生物学这些基础科学的学士学位，而且往往接受过大学毕业后的专业训练。海洋学传统上分为物理学、化学、生物学和地质学4个主要的研究领域。随着海洋资源的进一步开发，促成了研究公共政策、考古学、资源保护，以及许多环境保护问题的新的分支学科。

物理海洋学家描述海洋的物理状态，特别是水团的分布，其形成条件，以及使水团扩散和混合的宏大的水流。化学海洋学家研究海水的化学成分，以及它们在海洋环境中对生物过程、地质过程和物理过程产生的影响。生物海洋学家研究海洋中的动物和植物。地质海洋学家研究海洋底部的地质构造和矿物组成，也研究大到行星小到个别沉积物微粒的大大小小的现象。

太平洋中发现的锰结核的化学成分

元素	结核中的平均百分数	结核中百分数的范围
锰	24	50 - 8
铁	14	27 - 2
镍	1.0	2 - 0.2
铜	0.5	1.6 - 0.03
钴	0.4	2.3 - 0.01

开发海洋机遇的增加以及海洋利用日益扩大，产生了对公共政策，例如国际海洋法的需要。海洋考古学家研究沉入海底的人工制品，常常试图重建昔日的海滨栖息地。佛罗里达州基韦斯特岛外的"圣母玛利亚号"残骸是有史以来最丰富最有益的考古宝藏之一，对它的研究，以及对"泰坦尼克号"现场的研究都是重大的成就。

物理海洋学和化学海洋学

物理海洋学和化学海洋学研究地球及其海洋的物理和化学性质。物理海洋学家研究水的性质，例如温度和盐度，以及海洋的电、光、声的能的传送。它们还可能涉及空气-海洋界面的能量互换，以及海水的宏观运动。化学海洋学家鉴别溶解在海水里的元素，以及海洋里许许多多的化学循环和生物化学循环。他们还设计地球化学模型，解释海洋的起源和发展。几十亿年以前，地球被云包围。云很厚，厚到太阳光不能穿透。地球的温度很高，高到水分不能落到地面上来。随着地球的冷却，开始下雨，连续下了许多个世纪雨，雨水倾泻到深深的大洋盆地里，带来大陆上包括盐在内的矿物。如今海洋里的盐可以覆盖各个大陆152米那么厚。

海洋和河流里溶解的固体物质

固体	在河水的全部固体中所占的百分比	在海水的全部固体中所占的百分比
氯化物	5.7	55.0
钠	5.8	30.6
硫酸盐	12.1	7.7
镁	3.4	3.7
钙	20.4	1.2
钾	2.1	1.1
(重)碳酸盐	35.1	0.4
硅石	11.5	少量
铁-铝氧化物	2.8	极少量
硝酸盐	0.9	少量
其他	少量	0.3

被河流带进海洋的固体物质主要沉淀在海岸附近地方，往往形成像密西西比河三角洲这样的大的河流三角洲。溶解物质逐渐在海洋中混合，成为海洋里盐类的一部分。

上面那张表对河水里溶解的物质的量与海水里溶解的物质的量进行了比较。海水里的盐的量比河水里的盐的量大得多。水中所含种种盐类的百分比的比较，说明这两种水的组成成分有显著的差异。现在的河流可能与过去的河流类似。河水与海水成分的差异主要来自海洋里发生的种种化学反应。多数化学反应将物质从海水里分离出来。例如生物把部分元素作为食物消耗，后来它们死亡，沉落到海洋底部。

这种死的有机物在化学上是"胶黏的"，可以从水中吸取稀有元素。河水里悬浮的矿物粒子或者在河口沉积，或者被带进海里，沉淀到海洋底部。它们与有机物同样地在沉淀的时候除去了海水里溶解的一些元素。

溶解在海水里的物质也可以因为它们之间以及它们与海底的物质之间发生的化学反应而被除去。这些反应反过来又形成新的物质。除此以外，部分溶解盐类被风吹离水面，跟着浪花走了。河水里多数的氯化物被风吹离水面之后又进入重返海洋的过程。

在上述过程里容易脱离海水的那些化学元素只在溶液里留下很少的数量，它们被称为痕量元素。很可能地球上存在的每一种元素在海水里都存在，但是许多元素数量太少，很难测量出来。

表层海流

表层海流在很大程度上取决于风。在南、北两个半球，高纬度地带一般吹的是西风，低纬度地带吹的是东风。它们称为盛行风。（见：**风；天气**）

盛行风使海洋表面产生转矩或者说扭力。不难想像这种力将如何使北半球海流顺时针循环，南半球海流逆时针循环。下面的表层环流图显示大西洋和太平洋里的海流循环情况。

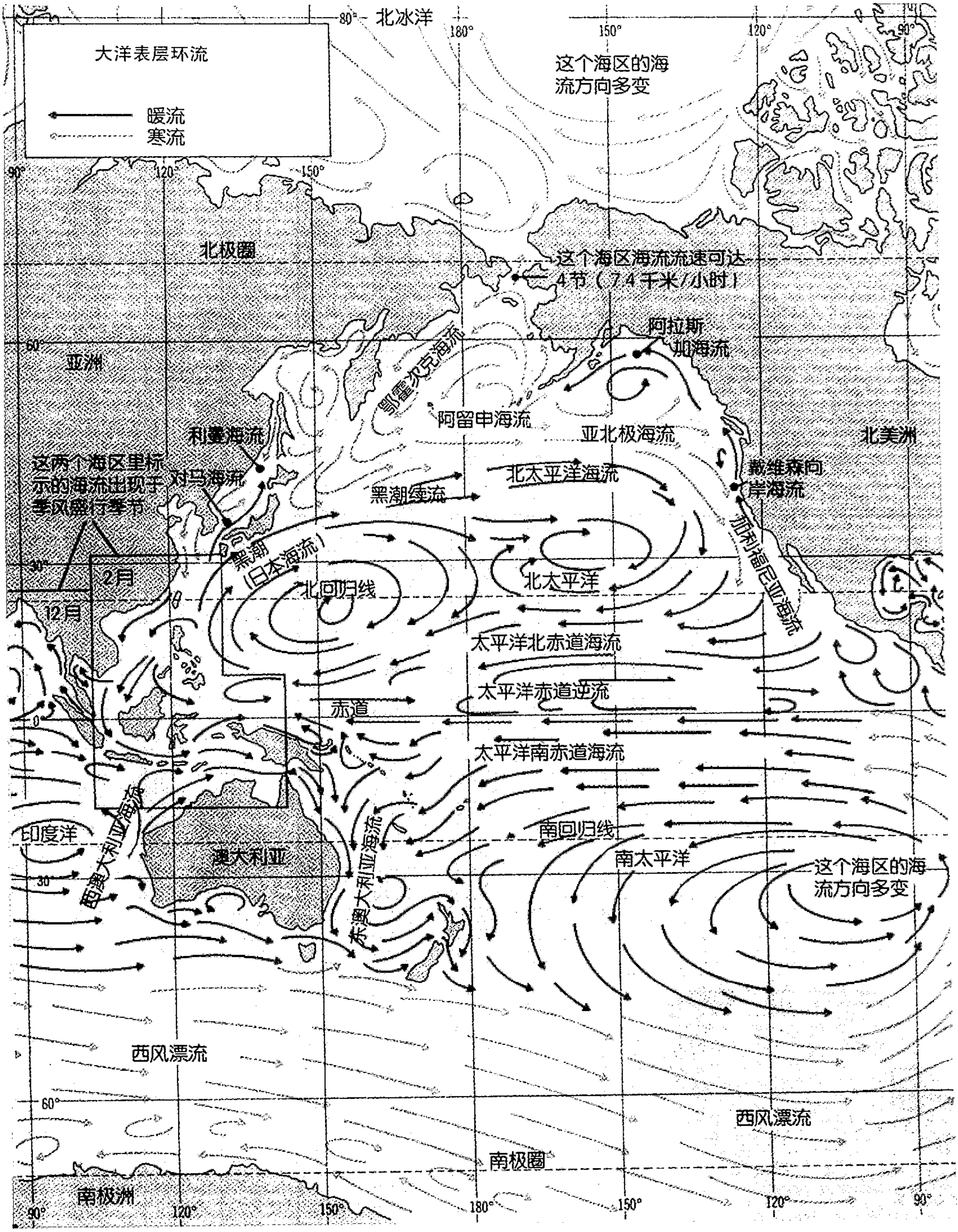
海洋西部的海流例如北大西洋的湾流比东部的海流强大。这是地球自转产生的效应。从赤道向两极地方运动的水的粒子受地球自转产生的转矩以及风力产生的转矩的影响。但是当水的粒子向赤道方向运动的时候，受地球自转产生的转矩的作用反过来了，它是与风力产生的转矩相对抗的。在南、北两个半球的海洋的西部，它使表层的海流——离开赤道向极地漂流的海流——与在海洋东部的流向赤道的与其互补的海流比起来流幅窄些，流速大些。

海流的共性

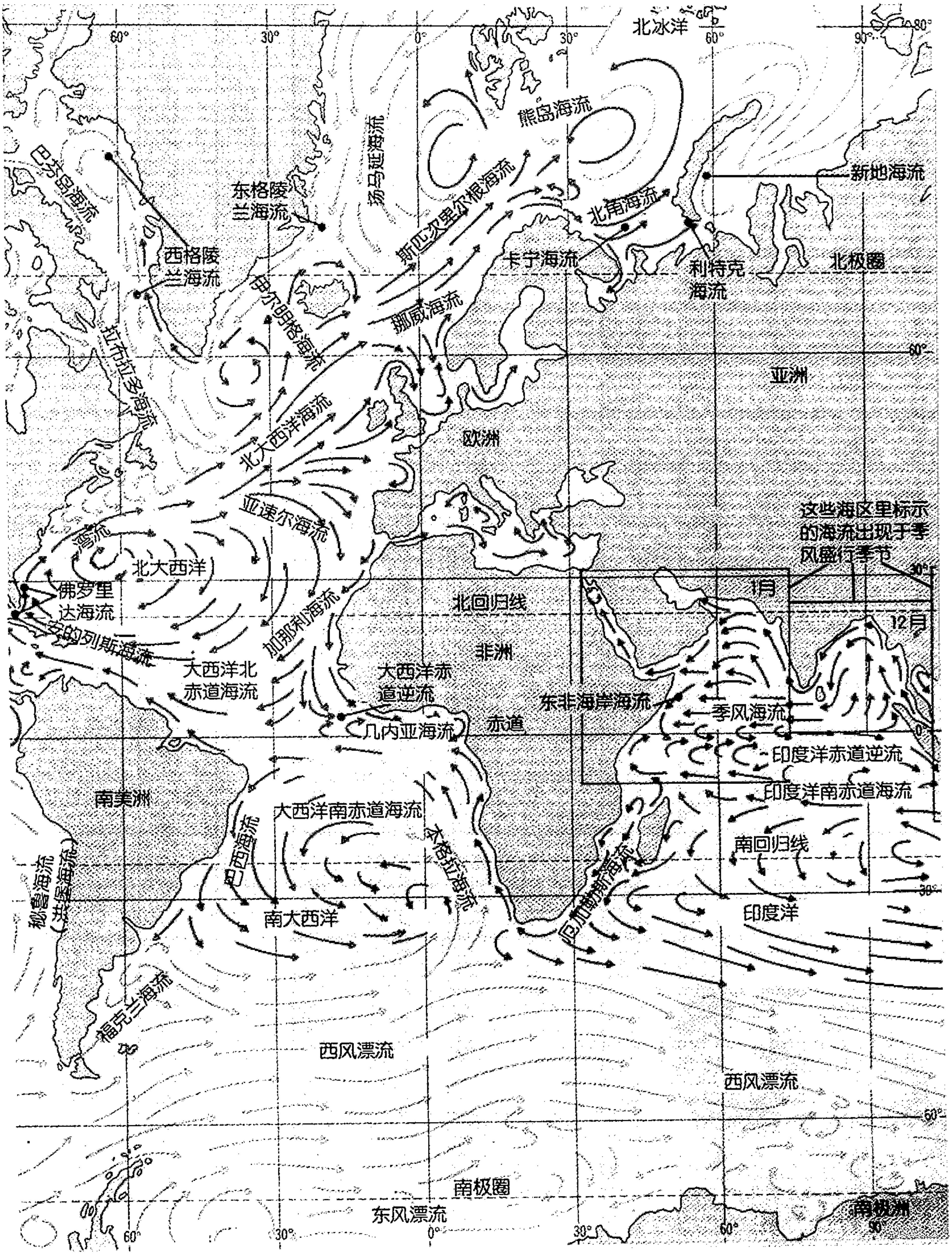
在不同的海洋里，相互对应的海流彼此之间具有共同的特性。虽然海洋里的水的运动实际上是一个复杂的过程，但是像湾流这样的一个海流——北大西洋西岸海流，与北太平洋西岸的海流——日本海流却有许多共同点。北太平洋东岸的海流——加利福尼亚海流，同样地与南太平洋东岸的海流——秘鲁海流或者洪堡海流也是类似的。

海洋学家一直在深入研究世界上主要的海流。近年来特别着重对两个海流的研究。一个是湾流；另外则是一个人们不熟悉的新发现的海流。它在太平洋和大西洋的表层下，有时也在印度洋表层下，紧挨着表层沿赤道向东流动。

太平洋赤道潜流又称为克伦威尔海流，在海洋表层环流图中并没有标明。克伦威尔海流处在向西流动的太平洋南赤道海流之下。它的顶部大约在洋面以下 45 米到 90 米深的地方。克伦威尔海流厚度大约只有 150 米，宽约 400 千米。多数海流的位置时常变动，但是克伦威尔海流总是集中在赤道上。



本图说明北半球为冬季南半球为夏季时，大西洋、太平洋和印度洋的主要表层海流的总的流动状况。海洋表层海流是受风驱动的。北半球的海流是顺时针循环的环流，南半球的海流是逆时针循环的环流。



海洋西岸的海流比东岸的海流强劲而且急促，这是地球自转产生的偏向力造成的。墨西哥湾流是一个强劲的海流，它出现弯曲，有的时候分离出巨大的涡旋。海流前后来回流动，弯曲和涡旋出现的地点也变化无常。

海水化学元素丰度（克/吨或百万分之几）

氢	108 000	锗	0.0001
氦	0.000005	砷	0.003
锂	0.2	硒	0.0001
硼	4.6	溴	65
碳	28	氪	0.0003
氮	0.5	铷	0.12
氧	857 000	锶	8
氟	1.3	钇	0.0003
氖	0.0003	钼	0.01
钠	10 561	银	0.0003
镁	1 272	镉	0.000055
铝	0.002	铟	0.02
硅	3	锡	0.003
磷	0.07	锑	0.0003
硫	884	碘	0.05
氯	18 980	氙	0.0001
氩	0.6	铯	0.0003
钾	380	钡	0.0062
钙	400	镧	0.0003
钪	0.00004	铈	0.0004
钛	0.001	钨	0.0001
钒	0.002	金	0.00005
铬	0.00005	汞	0.00003
锰	0.002	铊	0.00001
铁	0.005	铅	0.003
钴	0.00016	铋	0.0002
镍	0.0007	氡	9.0×10^{-15}
铜	0.003	镭	3.0×10^{-11}
锌	0.01	钍	0.0007
镓	0.0005	铀	0.003

这张表是已经知道存在于海水的元素以及它们的相对丰度。丰度是用百万分之几来表示的，它表明 1 吨海水里这种元素以克表示的重量。

海洋里丰度最高的是氧和氢。它们既是水的组成成分，又作为溶解的气体存在于海水之中。钠、镁、钙、钾，以及硫酸盐和氯化物的丰度也很高。这些物质在海洋里完全混合在一起，它们的比例往往固定不变。在海水的每次取样里，它们的百分数总是一样的。稀有元素，特别是作为植物的营养物质的那些稀有元素，它们的数量不是恒定的。

地球化学对照这种方法可以说明海水形成的时候发生的化学过程。地壳最初由火成岩构成，火成岩的成分是已知的。（见：**岩石；矿物；地质学**）

海洋和其中的一层层深厚广袤的沉积岩形成于漫长的地质学年代，它的组成也是已经知道了的。因此，考虑到火成岩和沉积岩成分的差别，再估计从火成岩转变为沉积岩的岩石的量，就可以计算出释放到海洋里来的不同元素的总量。下面的表就几种试样元素对当初释放的量与今日海洋里含有的量进行了对比。

海水中一些元素的地球化学对照表*
（克/吨或百万分之几）

元素	海水中含量	火成岩受侵蚀提供的量†	溶液提供的量的百分数‡
钠	10 561	16 700	63
镁	1 272	12 500	10
钙	400	21 800	1.8
钾	380	15 500	2.5
硅	3	155 000	0.0026
铁	0.005	30 000	0.000017
铝	0.002	48 000	0.0000042
氯	18 980	188	10 095
溴	65	1.0	6 500
硫	884	312	283
硼	4.6	1.8	255

* 海水平均盐度约为 35‰。

† 科学家估计海洋里每 1 千克水含有风化的火成岩 600 克。

‡ 多数元素的其余部分沉积到沉积岩中。

表中最后 4 种丰度高的元素主要是火山喷发时向海洋提供的。

这张表里，从元素钠到铝是金属，通常形成溶液中的阳离子（或者带正电离子）（见：**化学**）。这一组元素的前 4 种元素的很大部分留在了海水里，但是硅、铁、铝却几乎全部从海水里被排除了出去。

元素氯、溴、硫、硼是非金属，通常形成溶液中的阴离子（带负电离子）。它们在海水里的丰度太高，不可能全部都是岩石风化产生的。火山气体里有这些元素，看来它们肯定是几十亿年的时间里火山喷发的时候进入海洋的。同样的过程可能产生了充满海洋的水。无法估算这些阴离子当中有多大比例已经从海水里被排除出去了。

海水的盐度和密度

海水的盐度是水中含盐量的百分比。盐度的定义是指给定量的海水里含盐的重量与海水重量的比率。通用的标志法是符号‰表示含盐量为千分之几。因此，海水35‰的盐度表示每吨海水里有盐35千克。盐度的分布及变化取决于表层海水的蒸发与来自江河及降水返回海洋的淡水的总量二者之间是否保持平衡。

海水蒸发的时候，盐仍旧留在水里，加大了溶液的浓度。因此，在海洋的中央部分，如果蒸发的水分比降雨返回海里的水多，表层水的盐度将大于那些降雨量充沛，蒸发丧失的水分得到补充的区域。在近岸水域表层水的盐度通常比中央洋盆为低，因为陆上江河流来的淡水将海水冲淡了。

海水的密度取决于温度和盐度。当水温降低或者盐度增大的时候，水的密度就增大。因此，最重的水的温度很低，盐度很高。

海洋怎样增温

阳光穿透海水许多米深。远离海岸的海洋是深蓝色的，像纯净蒸馏水那样透明。然而，近岸水域里的海水因为生长着称为浮游植物的微小的植物减弱了透明度。这里也有死去的植物和动物腐烂的有机物。海水中的微小的动物、植物统称浮游生物。它使近岸海水具有独特的绿色。河水带来的沉积物也降低了近岸海水的透明度。

海水因为吸收了太阳的辐射，表层变热。这个热又可以通过几个途径而丧失，其中最重要的两种途径是蒸发和辐射。每年海洋表面蒸发的水平均厚91.4厘米，水量大约相当于1 315 712立方千米。某些水域，例如拉布拉多岸外水域，干冷空气从湾流的暖空气上面流过，冬季每天的蒸发量大约有12.7毫米。10立方厘米海水蒸发时需要的热量等于10升海水的温度降低0.34℃时释放的热量。

海洋的温度年复一年是相对地恒定的。这说明它增加的热与失去的热保持平衡。以3月里一个晴天为例，白天，海面被加热；日落以后将会失去同样数量的热。

春季与夏季里，吸收的热量大于失去的热量，海洋表层的温度上升。风和浪使热量向下传导、混合，产生明显的斜温层或者说温度梯度。秋季里海洋散失到大气里的热大于吸收的热，斜温层消失。

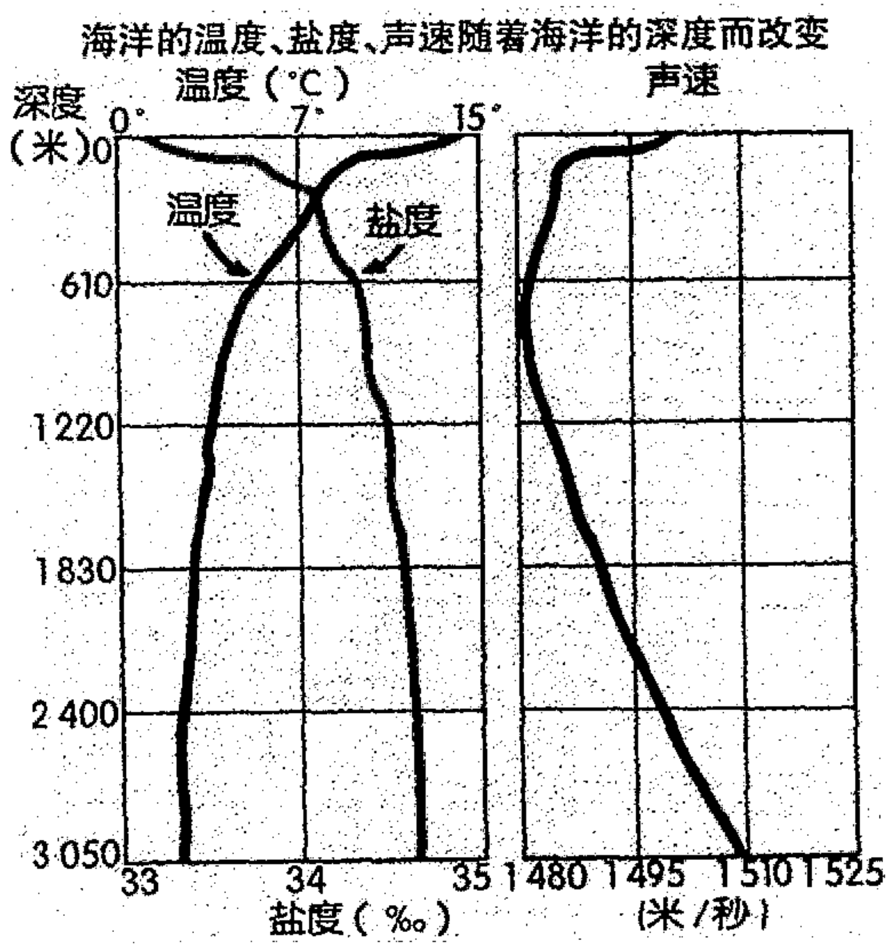
使给定数量的水提高1℃所需要的热量大于使同等数量的沙提高1℃所需的热量，这是一方面；另外一方面，表层加热的水是与水面以下几十米深的水相互混合着的，于是海洋就成了巨大无比的贮热库。夏季里贮藏热，冬季里缓慢地释放热。

海洋表层比起毗邻的陆地来，往往冬季要温暖一些，夏季要冷凉一些。因此，海洋对沿海城市的气候起着调节的作用。远离海边的内陆城市，一般说来更能体会不同季节气候的变化。

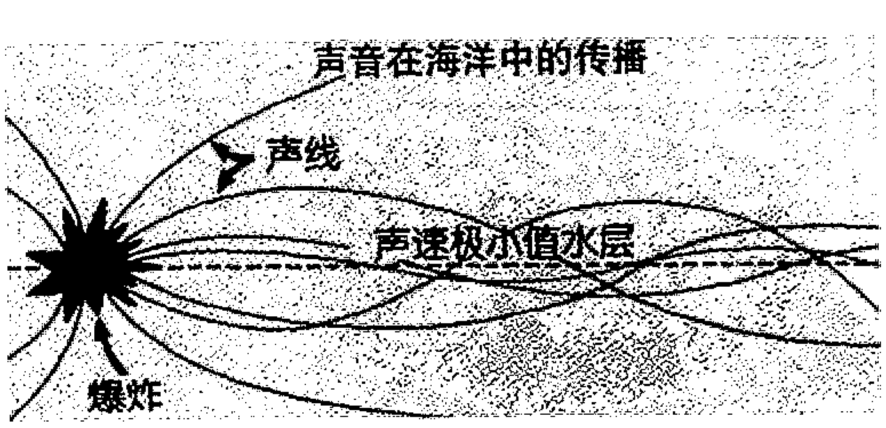
在夏季的日子里，海水经过混合可能把太阳的辐射热传导到百米多深的水里。但是这只不过是海洋总的深度的很小的一部分。这个季节变温层以下的水域是寒冷而黑暗的。海洋的平均温度是3.33℃，75%的海水的温度低于5.55℃。因为冷水比暖水重，世界各地海洋里1 000米以下深处的水最初都是从南极大陆附近或者遥远的北方格陵兰岛的大西洋那里沉入海底过来的。

偶尔海水因为盐度很高变得很重。例如地中海。从直布罗陀海峡流出来的海水比相毗邻的大西洋的水盐度大，因为它比较重，它就下沉。在这个地中海海流穿过大西洋的路上的大部分地方，可以追踪到它的高盐度的水舌。

有独特的温度和盐度的水称为水团。测定水温和盐度是海洋学家追踪水团运动的一种方法。例如在大西洋里可以追踪到沿着洋底北上的寒冷的低盐度的南极底层水。不过，更加容易的是追踪在900米深的水域向北流动的低盐度的南极中层水的水舌。在这两个水团之间，多数深水域为大西洋深层水团，它在北部具有特定的温度和盐度，在向南流动的过程中，逐渐与周围的水混合。



左图表示温度和盐度随深度变化而改变。右图表示声速随海洋深度变化而出现的典型变化。



海洋中接近水平方向传播的声线向声速极小值水层折射。

海洋的混合

海洋学家还不清楚深层水团运动的确切方式，也不清

楚它们的运动速度。它们的运动缓慢，很可能是不稳定的。很可能水团移动的时候是旋转的涡流，就像从缓慢燃烧的火焰向上升起的烟。

世界上的海洋是相互连接的，它们都通过环绕南极洲的南大洋。在南大洋里来自大西洋的水可能流进印度洋和太平洋。

设想进行这么一个实验，如果将大西洋表层与底层之间的 4 立方千米的海水染成红色，就可以追踪水分子的运动。这 4 立方千米的水可能以每年 80 千米的速度缓慢地向南移动。但是它将会以更快的速率与周围的水混合。因为随着海洋深度的增加海水的密度也将增大，海洋水平混合比铅直混合更加容易。

经过一定时间以后，红色的立方体将成为一个粉红色的圆盘，它上下垂直尺度大约是 3 千米，水平的直径却大约是 1 000 千米。到达表层的粉红色水与周围水的混合速度将比 3 千米深处的水的混合速度快。染过色的水最终将通向南大洋，然后进入太平洋和印度洋。最后，随着染了色的分子到达海洋上下各种深度而使得海洋里所有的水都变成淡淡的粉红色 。这一个过程需要多少时间？有些海洋学家认为完成这个混合过程至少要 1 000 年。

海洋里的声道

声波在水里传播得比光波和无线电波好。海上的船只利用这一现象来测定海底生物和鱼群的位置。以声呐装置利用高频声波的技术称为回声测距。这种方法类似以雷达装置利用无线电波测定飞机或船只位置的回波测距。

声音在海洋里的传播比在空中的传播远得多。原因之一是深海里有一种声道。声速随温度增高和压力增大而增加。上面的图表示海洋里有一个深度其声速极小。在这条低速声道上声波的能量被截住了。

声道在世界各个海洋的多数水域里持续延伸。例如，如果在加利福尼亚州旧金山附近的声道上发生了一起小的爆炸，远在 4 000 千米以外的夏威夷群岛附近声道上悬浮在海面上的水中地震检波器也能检测到。

生物海洋学

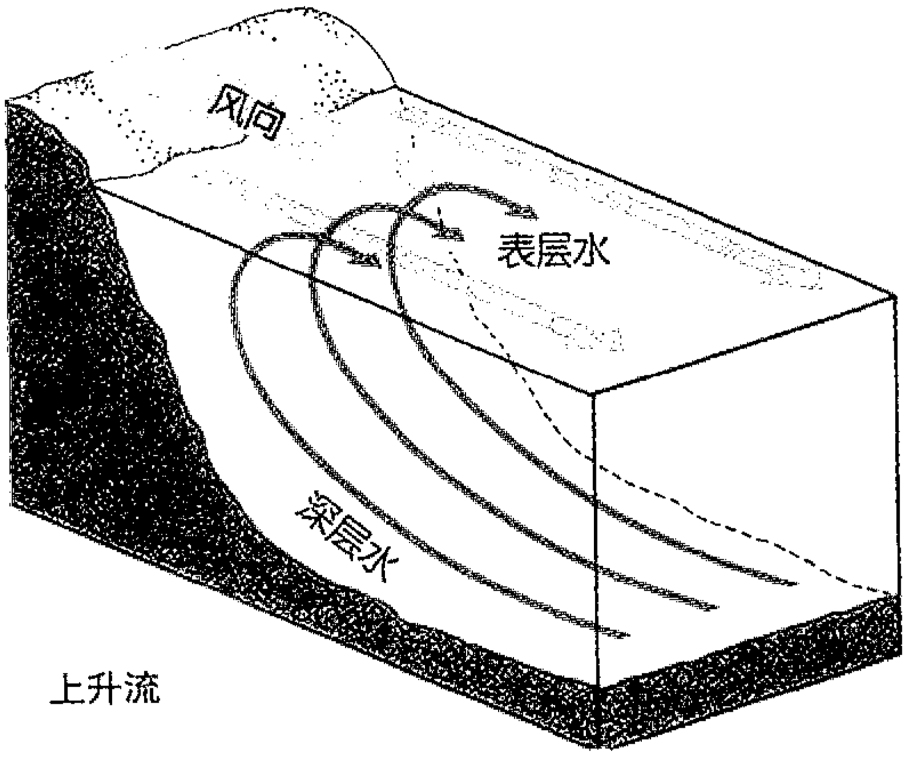
生物海洋学研究对象是生活在海洋里的植物和动物的群体。它特别注重研究这些生物群落的分布，数量的增加，一个群体怎样影响另一个群体，它们怎样受生活环境的影响。例如某个大陆架水域里商业捕鱼船队捕获的鱼的数量，可能取决于特定年份里鱼的食物的数量。鱼吃的是什么食物？有些种类的鱼吃上层水域里的微小的动物。而这些动物有些年份里数量多些，有些年份里数量少些。这是因为这些动物是以微小的植物作为食物的，海流的变化，以及海水温度的变化，这些微小的植物的数量也随着变化。还有一些种类的鱼吃的是洋底栖息的动物。当条件有利于这些底栖动物生长的时候，鱼的数量也随着增加。

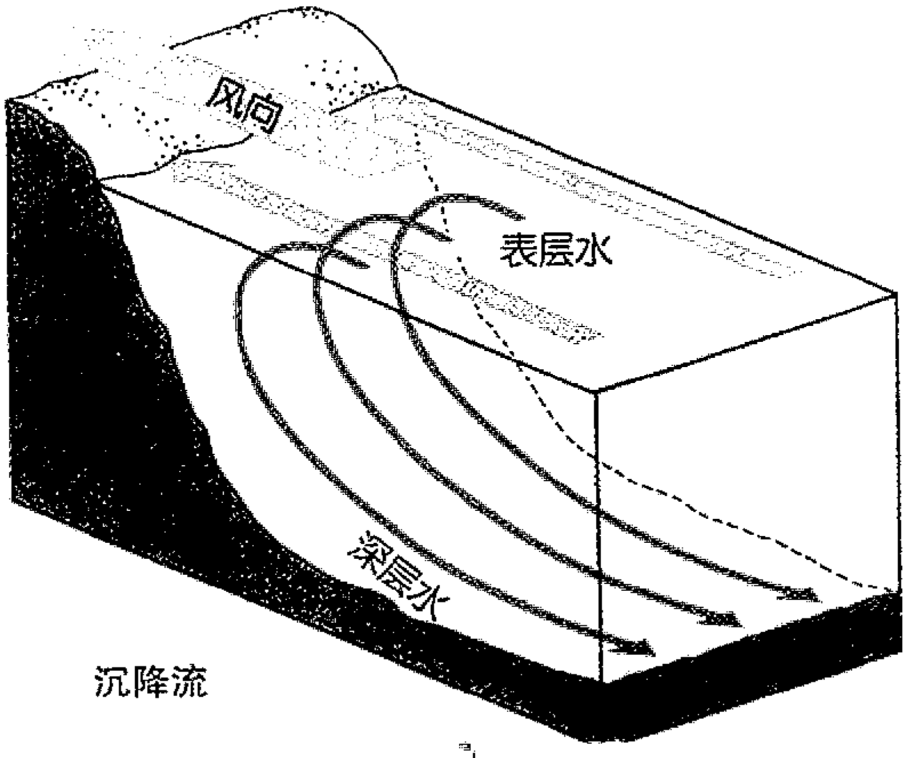
科学家将海洋生物划分为三类。一类是能够逆水游泳的动物。这一类生物称为自游动物，包括鱼类中的大多数，以及枪乌贼和各种鲸。

另外一类是底栖生物，包括全部生活于海洋底部的动物和植物。属于这一类的有各种海藻、蟹、蠕虫、海星这一类的海洋生物。

这两大类生物似乎已经把全部海洋生物都包括在内了。但是还有第三类，这是最不引人注目的，最后被发现的，也是最重要的一类。这就是包含几千种微小的植物和动物的浮游生物。它们并不像人们通常认为的那样停留在海洋的表面。相反地它们悬浮在不同的深度的水里。正是因为这个缘故，浮游生物被海流带到海洋的各个地方。

称为浮游植物的植物是单细胞生物，它们很小，不用显微镜就看不见。多数浮游动物只有几个毫米大，不过也有大的，例如大的水母的直径可以大到几个厘米。





当离岸风将表层水吹向大海的时候，深层水向上流动取而代之，这就是典型的上升流。当向岸风使表层水重叠堆积和下沉的时候，就产生了水的沉降。

浮游生物之所以重要，是因为只有植物才能利用阳光制造一切动物都需要的食物中的碳水化合物。动物要获得碳水化合物，必须吃植物或者吃那些吃了植物的动物。然而阳光只能进入海洋很短的一段距离，海洋中大多数水域是绝对黑暗的。那些地方缺乏能让植物制造碳水化合物的足够的光。

附着在海洋底部的惟一的植物是沿着每个大陆边缘狭窄的一条浅水水底生长的海藻。如果这些海藻是海洋里仅有的植物，那么海洋的大部将成为浩瀚的液体荒漠，不能支持任何生命存活。然而，微小的浮游植物在有充足光照的海洋上层漂浮，提供了必需的植物。春季和夏季里，海洋表层水域充满这些微小植物的水华。

浮游植物的生长常常消耗了上层水域里的全部营养物质——主要是氮、磷、硅。春季和夏季表层水域温暖、光线充足，不容易与冷凉沉重的深层水混合。所以表层水不可能获得新的营养物质。

最后水华因为缺乏食物而衰退，浮游植物细胞死亡，下沉海洋深处。在它们下沉的过程中遭受细菌侵袭，部分残骸被分解。营养元素因此被释放，回到深处的海水里。上升流是指水的垂直运动过程，次表层水和其中悬浮的营养物质被运送到表层。最明显的近海上升流见之于美国西部、秘鲁、摩洛哥、南非、西非、澳大利亚西部和阿留申海岭南部。上升流的水为许多近海区域提供有机物必要的营养物质。相反的过程是沉降流，它完成了水体的环流运动。

上升流和沉降流不一定发生在同一水域。非洲和南、北美洲大陆岸外水域由于水的向上流动，成为捕鱼和繁殖大型海藻的广阔的水域，大量的鸟类在秘鲁产生了具有经济利益的鸟粪沉积，大西洋的南极辐合带附近超乎寻常的大量汇集的浮游生物（硅藻和鞭毛藻），是鱼苗（鲸类的主要食物）的食物。这些近海水域也为海洋植物种植和动物养育的海洋养殖提供富营养的水。

浮游植物

海洋浮游植物是微小的单细胞植物，其中包括硅藻、沟鞭藻、颗石藻、绿藻和蓝绿藻等等。这些进行光合作用的生物的生长取决于营养物质与光的可用性二者之间的高度平衡。这些营养物质是由海水的垂直混合补充的，它往往受氮的可用性的限制。硅藻是具有带花纹的玻璃盒子的单细胞植物。上下两个玻璃的，或者说二氧化硅（SiO_2）的壳装饰着种种特异性的花纹、凹沟和孔眼，显微镜学家以及近年来的电子扫描显微镜学家对这些特点都很熟悉。

在几千种浮游植物中间，有一些挥动称为鞭毛的鞭状附属丝而微弱地游泳的浮游植物。沟鞭藻因为它的生物发光或者说磷光现象而闻名，这是一种与萤火虫的光类似的“冷光”。

因为沟鞭藻散发毒质，所以它在大量存在的时候是剧毒的。它像云像烟，将水染成红色（因此称为赤潮）、棕色，甚至黑色。在墨西哥湾和南部非洲的鲸湾港，赤潮往往带来鱼类、蟹类和其他动物的大量死亡，尸体冲上海滩。人吃了体内积聚了赤潮剧毒的贻贝和蛤可能生病甚至死亡。

浮游动物

浮游动物是浮游生物中的动物。形形色色种类繁多的浮游动物包含许多种动物的幼体和成体。有些底栖动物和自游动物的短期的幼体与以后成熟的成体在形态上完全不同。这些未成熟的动物能够随波逐流，漂浮到新的水域定居。

桡足类是小型的终生浮游的甲壳动物。这类动物数量极大，估计除单细胞的原生动物外，地球上所有其他种类动物加在一起可能还没有它多。桡足类作为海洋里初级的以植物为食物的动物，对于海洋的生态系统至关重要。它们吃水中牧场的浮游植物。成为植物的初级生产与数量庞大的大大小小的肉食性动物之间的纽带。多数桡足类个体微小，但是也有个体大到像一粒米那么大的。

其他大量的终生浮游生物是单细胞的有孔虫和放射虫。有孔虫有碳酸钙（$CaCO_3$）构成的骨架，放射虫有二氧化硅构成的骨架。水母是最大型的浮游生物之一。透明的箭虫或者说玻璃虫是底栖动物，它有大的颚毛用来捕食桡足类和其它的小动物。

鱼类和海洋哺乳动物

海洋鱼类中大多数是近岸，或者说是沿岸生活的鱼。只有少数种类的鱼是洄游于海水与淡水里的，它们的一生的部分时间在淡水里，部分时间在海洋里度过。捕捞以供消费的人们熟悉的那种鱼，只占世界上各种鱼总数的很小的一部分。但是金枪鱼因为它的生产价值而被认为是主要的海洋生物资源。人们对海洋鱼类中数量最大的鱼类——圆口类没有进行商业性捕捞，它们在海面以下 300 米-1 000 米处生活。这些个体小、透明，会自然发光的鱼数量如此之大，成为反射回声探距仪器的声波的深水散射层。

海洋哺乳动物也是自游生物的一部分，包括海豹、海狮、海獭、海牛、海豚和鲸。最大的食肉动物是抹香鲸。它的主要食物是身躯长达 17 米的大王乌贼。有些鲸吞食通过角板（鲸须）过滤的海水里的浮游动物。逆戟鲸捕食鱼、企鹅、海豚、海豹和海狮。

地质海洋学

地质海洋学是地球科学中范围最为广阔的领域之一。这个海洋学分支的科学家研究海底的地形、构造以及地质过程。（见：**地球；地质学**）

大陆和洋盆 是地球表面最大的特征。陆地和主要的洋中脊形成四大洋盆（北冰洋、大西洋、印度洋、太平洋）的边界。每个大陆都有一个被海水淹没缓缓倾斜的大陆边缘。它包括相对平坦的大陆架，一般深度小于 180 米，宽度从几千米到 300 千米。在大陆边缘的陆架中断的地方，出现大陆架隆起，然后是开始伸向深海底部的大陆坡。不时有深陷的水下裂谷切断大陆的边缘。

隆起与中脊 两侧为较小的海盆，将主要的洋盆分隔开来。洋中脊是连续不断的中央断裂系统，横跨北大西洋、南大西洋、印度洋和南太平洋，总长度为 64 000 多千米。这一条宽阔的断裂的隆起地形，高于洋底 2 700 多米，通常有

一个中央裂谷,是地震的震中所在地。(见:地震)

海沟 是地球的地壳中高度地域性的海下裂缝。海沟的断面一般呈V字形,或者有一系列类似阶地的台阶,或者急剧下降海底。深海沟的陆侧坡比较陡。海沟主要出现在环太平洋地区,但是在印度洋北部边界、加勒比海外环,以及南大西洋的群岛系列斯科舍弧地区也有。关岛岸外的马里亚纳海沟、南太平洋的汤加海沟,以及菲律宾海沟是海洋最深的一些地方。海槽是个长的凹陷,它的坡面比海沟缓和。有的海沟因为部分地充填了沉积物而成为海槽。(参见:海洋)

海山 是孤立的高地,比邻近的深海洋底高出至少有900米。虽然单是太平洋洋盆的海山登记在册的已经超过1 400座,但是90%的海山还没有被发现。这些海下的山通常是玄武岩火山,往往像夏威夷群岛那样是一个长长的链。有顶峰的海山是尖顶海山。盖奥特是平顶海山,是海底火山突出在海水平面上的时候被风和浪削平的。

深海丘陵 是从深海平原上升起的丘陵,高度不到900米,宽度约为高度的10倍。它的成因是多种多样的。或者是因为火山喷发,或者是因为褶皱和断裂,或者是因为沉积物覆盖了古老的被埋没的海山或丘陵。深海区是世界上最大的生态单位,覆盖大洋总面积的$\frac{3}{4}$以上,地球总面积的$\frac{1}{2}$以上。

大洋地壳

大洋地壳典型地是由覆盖在地幔上方的三个层次构成的。最上面的一层平均厚约0.5千米,是没有固结的沉积物。第二层是固结的火山岩层,厚约1.6千米。它在浅水里薄一些,在太平洋里的比大西洋里的厚一些。它的底部是玄武岩层或者说大洋层,厚约5千米。它的主要成分是富含镁和铁的岩石,特别是玄武岩。大洋层里表面丘陵是常见的。有些地方的大洋层没有上面的两层。

对于大洋地壳矿物磁性的研究,提供了有关地壳的结构和运动的知识。大洋裂谷两侧的磁性模型说明新的海底形成了这些裂谷,并且以水平方向从中心向两侧扩张开。在过去的2亿年里,这个过程造成了现在的海底的全部地壳。

海底地质过程

深海里的地质过程相对地比陆地上的地质过程慢。陆海之间的这种突出的差异是因为深海里没有显著的侵蚀。深海里每1 000年积聚的沉积堆积物只有几个毫米厚。因为底部洋流一般都比较弱,海洋沉积物一经堆积不大可能被侵蚀和重新沉积。深海远洋带沉积物因此成为生物进化、冰河时期温度变化以及其他地质模型的最完整的历史记录。

碎屑沉积 多数碎屑沉积来自陆地上被侵蚀的岩石和土壤。它最初沉积于大陆架上,主要是在潮间带、三角洲和海滩上。其余的沉积物继续流向大海。微细的颗粒被风和海流带到远离海岸的地方,最后沉落在洋底。沉积物比周围的水重,它们沿着大陆边缘被混浊流搬运往海底,这些沉积物在水下像雪崩似地压向海底,有助于说明海底裂谷、大陆隆起和深海海底平坦的深海平原的形成。大陆隆起和深海平原的沉积物中有砂、淤泥、黏土的粒级层,像这样形成的沉积物称为浊流沉积物。

化学沉积和生物沉积 近岸和浅水中的多数沉积物是钙质的,它们含有来自贝壳或者海洋动物尸体硬壳的碳酸钙。其中比较大的动物有蛤、贻贝、牡蛎、扇贝、蜗牛和蛞蝓;比较小的有海洋里微小的动物和植物,其中包括构成珊瑚和藻礁的珊瑚虫和藻类。

深海沉积分布在水深不到4 000米的地方,这些地方的洋底大多为海洋有孔虫的壳组成的有孔虫软泥所覆盖。更低的洋底,碳酸钙减少,沉落下来的带壳的生物或者在沉落过程中,或者在落到洋底之后不久开始溶解。从这里往下,碳酸钙开始溶解的这个深度称为碳酸盐补偿深度。碳酸钙是海洋底部含量最丰富的生源沉积物;硅质软泥却在补偿深度以下沉积。硅藻软泥由绿色单细胞藻类遗体组成,主要分布在太平洋和南大洋。

火山活动 海底火山产生海底的熔岩流、火山灰和熔岩粉粒沉积物。洋中脊火山活动产生玄武岩海底地壳,有时会形成高出海平面的例如冰岛那样的高原。海底地震是与大洋中脊系统以及板块边界汇聚的消减带相关联的。

晚近的地质史

大陆和伴随它的大洋地壳片块在岩石圈上面漂移。20世纪70年代和80年代中获得了关于大陆形成、分裂和漂移的证据。玄武岩从大洋中脊喷涌出来,记录了地球磁场的极性转向。在晚近的地质年代中,磁场以50万到200万年的间隔发生转向。海洋地质学家能够通过测定海底磁条纹图样判断海底的扩张率。太平洋海底每年扩张2.5－10厘米。海底按年龄带划分的特别的轮廓图说明大洋盆地的生成大约已经有2亿年。

大约1万年以前,海平面比现在的海平面约低60米。自从更新世的最近一次大的冰川推进以来造成的海平面的升高,起着剥蚀海岸线的作用。现在的海平面的持续升高,以及在某些地区的加速升高,对人,特别是住在海边的人们,产生深远的影响。如今还没有完全弄明白产生这种现象的原因,但是冰川的融化是与它部分有关的。

撰文:Charles William Finkl, Jr. ,John A. Knauss,
David M. Pratt 和 David R. Schink

海洋 OCEAN 被称为新的领域的海洋是地球上环绕各个大陆的广袤的水体。海洋分为太平洋、大西洋、印度洋和北冰洋等几个主要部分。有些人则把海洋分为北太平洋、南太平洋、北大西洋、南大西洋、印度洋、北冰洋和南大洋一共7个大洋。七大洋这个称谓起源于中世纪阿拉伯的地理学家,他们只知道欧洲和亚洲地区的水体。

在大洋的边缘有半封闭的海和海湾,例如地中海、加勒比海、波罗的海、黑海、红海、北海、墨西哥湾和波斯湾。封闭在大陆之内的里海在较早的地质年代里原本是一个大洋的一部分。海湾一般被说成是洋或海的延伸。墨西哥湾却比

许多海大。海峡是连接两个大的水域的狭窄的水道，例如大西洋与地中海之间的直布罗陀海峡。

洋、海、海湾、海峡总共覆盖地球表面的71%。其他已经知道的行星都不像地球这样有这么多水。大西洋、太平洋、印度洋和北冰洋覆盖面积为 335 220 000 平方千米。其中最大的是太平洋。它几乎占地球总面积的$\frac{1}{3}$。海洋在地球表面的分布并不均匀。其中分布在北半球的约占总面积的43%，分布在南半球的约占57%。

海洋(ocean)一词源自 Oceanus。这是希腊神话中巨人族泰坦的一员。他是世界最初的统治者，天和地的儿子。希腊人相信有一条环绕扁平的大地的河，他们把这条河拟人化，称为 Oceanus (海洋)。

大家知道，海洋影响地球表面的形成(见：**地质学**)。北美洲的很大部分在地球的历史上有过几个时期是被海洋覆盖着的。陆地上的石灰岩、沙岩和页岩多数是古代浅海海底的沉积物。在英格兰、德克萨斯和堪萨斯发现的白垩是海洋生物的壳在海底形成的。

海洋也影响气候。海水的热容量很大。它比陆地热得慢，也比陆地冷得慢。因此大陆的沿海地区比起内陆来夏季比较凉爽，冬季比较暖和。湾流的影响就是一个例子。海洋还是风暴的诞生地，而风暴对全世界的气候都产生影响。

海洋是食物的来源

比起无限丰富的海洋生物来，陆生生物就显得贫乏了。虽然生命或许起源于海洋，而且在海洋里，特别是在洋中脊地带的海洋深处不断发现新的生命形态，但是海洋里仍有人类还不知道的许许多多的生命形态。有着极其丰富的动物和植物的海洋，为人类食物资源提供了巨大的潜力。例如鱼是一种蛋白质资源，可以为苦于侵蚀或干旱的地区的人们提供食物。浮游生物，那些微小的植物和动物，是许多鱼的基本食物，也许将来有一天会成为重要的食物资源，进行商业性捕捞。挪威科学家兼作家 J. 海尔达尔曾乘轻木筏子“康-蒂基”号从秘鲁航行到波利尼西亚，他报告说他发现浮游生物“很好吃”。根据分析，浮游生物富含蛋白质、脂肪和碳水化合物。有些水体反射出异常的红、黄、绿、棕的色泽，表明那些水里有不同种类的浮游生物。

矿物资源、能源和水资源

从海水、海岸和深海海床里可以提取多种矿物(见：**海洋学**)。比起陆地上规模很大的矿物勘探来，海洋里的矿物的勘探规模是很小的。因为陆上资源耗尽或者已经不易获得，海洋已被看做巨大的矿物宝库。(见：**矿物**)

海洋的矿物资源分布在5个主要的区域：海滩、海水、大陆架、海底沉积物和海底沉积物下面的基岩。被海浪拍岸的力量集中到一起的许多海滩沉积物，与陆上采集到的矿物种类相同。现在已经使用挖泥机械来提取这些沉积物中的多种矿物——金、锡砂、铁矿石和金刚石。在海滩采集到的重矿物有钛铁矿、金红石、锆石和磁铁矿。部分大陆架的油气资源得到开发，最著名的有墨西哥湾、北海、波斯湾、阿拉斯加北坡，以及委内瑞拉的马拉开波湖。大陆架也蕴藏着含钙的动物的壳、磷酸盐岩、砂和砾石等矿物沉积物。洋底杂乱地散布着奇形怪状的颜色深暗的像马铃薯大小的团块或瘤状体。这些是锰、铁、镍、钴，以及其他元素的资源。

能量以若干可利用形式分布于全球的海洋。太阳能是海洋吸收的取之不尽用之不竭的资源。吸收下来的热的传导是造成海浪、水温和气温的差异以及海流的根源。利用波浪机、波力“风车”等装置开发波浪能和海流能的各种尝试取得了一定的成绩。在夏威夷附近进行现场试验的一种新的海洋热能转换装置(OTEC)，表明它在利用高的海洋温度梯度发电方面可能有实用价值。OTEC 又称为海洋热动力或者海洋太阳能，它局限于在赤道地带使用，那些地方水面与深水之间的温差至少有 9℃-14℃。布列塔尼半岛的朗斯工程利用了潮汐能。涨潮的时候海水上涌，落潮的时候海水下退，从潮水的进退中取得动力。全世界有 100 多处地方，那里的潮汐涨落的幅度适宜于建立潮汐能发电站。

海水里能够找到几乎全部存在于自然界的元素。许多地区广泛使用蒸发的方法提取食盐($NaCl$)，有些地方是日晒蒸发盐池。从海水中商业性地提取的元素还有溴、镁和金。从咸的海水蒸馏饮用水费用是很大的。因为海水转化需要热和动力，要花很多钱。海岸附近的核动力站往往配备一定的装置，利用取之不尽的海水为反应堆降温。

洋底“海景”

有许多方法用来对海洋深处进行勘探和绘制海图。陆地与海交界的地方是潮间带。由此往海的那一边是大陆架，它落入 150 米-180 米深处的海底。那些或者是从大陆内地河流带来的泥浆和淤泥沉积形成的，或者是因为陆地自身逐渐下沉形成的大陆架是最宽阔的大陆架。有的大陆架浅，那里的陆地因为波浪不断地拍打海岸而受到磨蚀。大陆架可能向海中凸出 160 千米-1 300 千米远，有的地方也可能根本没有大陆架；那里的山脉就耸立在海岸线上。

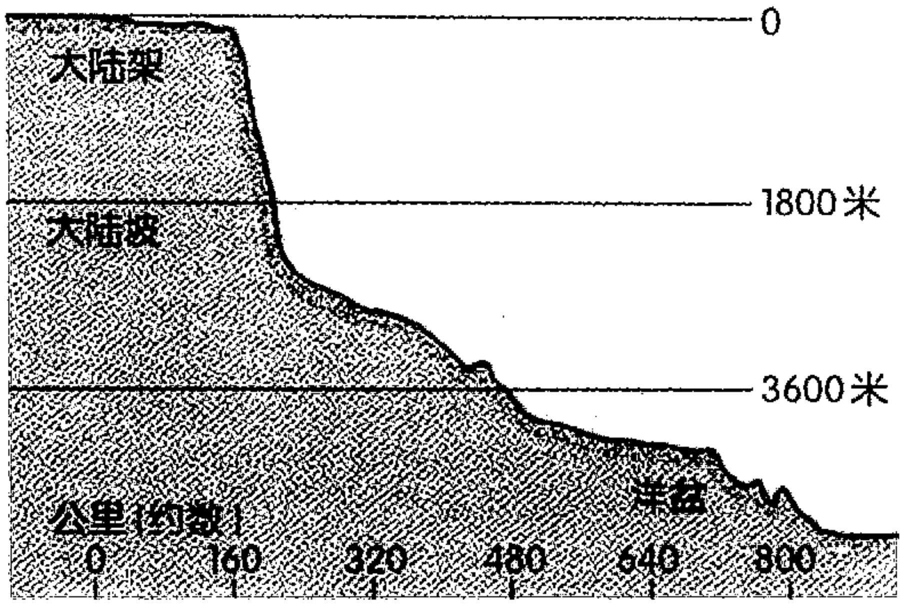
大陆架外缘向前延伸就是陡峭的大陆坡。大陆坡是大陆最远的边缘。它急剧倾斜 3 千米或者更多，进入海底。最低的地方是大洋盆地或洋底。平坦的海床地带称为深海平原。

深深的洋底断裂带和海沟切割大洋底部。那里还有海底山脉、连绵的海岭、平顶海山、峡谷以及火山顶峰，最高的峰顶可能露出海面成为大洋中的岛屿。夏威夷火山的最高峰冒纳凯阿火山海拔高达 4 205 米。如果从它在洋底的底部算起，它的高度是 9 761 米。没有哪一座陆地上的山从底部算起有它这么高的。

海洋的平均深度为 3 660 米。深度超过 5 500 米的洋底称为海渊。在关岛西侧和西太平洋中有马里亚纳海沟。它的被探测到的最深处是挑战者号海渊，深度大约是海面以下 11 千米。这是已经证实的世界最深的地点。地球上最高的山峰——珠穆朗玛峰(8 848 米)——如果沉没在挑战者号海渊里，它的峰顶还将低于海面 2 千米。太平洋里还有另外 10 个海沟，个个都深达 7 千米以上。

大西洋里已经知道的最深的位置是波多黎各海沟(深 8 381 米)，位于波多黎各海岸西北约 145 千米处。这个海沟是一个东西走向的，长达 720 千米的巨大的深渊。

新泽西州从大陆到海洋的海岸图



这是新泽西州海岸外大西洋的剖面图。某些大陆坡的基底是深深的海沟和高高的海岭。

大洋中脊

世界上最大的海底山岭是大洋中脊。它是一条纵贯大洋中部，环绕世界的连绵 64 000 千米的长长的带子。在大西洋范畴里它被称为大西洋中脊。它北起北冰洋，南下延伸到大西洋中部，接着绕过非洲最南端。随后它一分为二，一个分支向北直到红海，另一个分支环绕澳大利亚进入太平洋，最后向北回到北冰洋。位于南美洲西部水域的分支称为东太平洋海隆。

大洋中脊宽的地方有 1 600 千米。它的两侧高出海盆底 1.6 千米到 3.2 千米。洋中脊的中心部分有一个深达 1.6千米到 2.4 千米宽约 32 千米到 128 千米的大的断裂。这里是火山活动的焦点。一系列火山岛由这里隆起，例如位于大西洋洋中脊上的特里斯坦-达库尼亚岛、阿森松岛、亚速尔群岛和冰岛；位于东太平洋海隆上的加拉帕戈斯群岛和复活节岛。洋中脊的火山活动可能使洋面上方出现新的岛屿，例如 1963 年在冰岛附近就冒出了一个苏尔采岛。

海洋里的生命

在海面以下直到 180 多米深的地方，阳光仍将支持植物的生命。长期以来，人们一直相信没有光亮的地方就没有植物生存，而没有植物的地方也就没有动物。由此推论，广阔的大洋洋底必然是只有空虚和死亡的一片荒凉。后来地中海 2 000 多米深处的一条电报电缆断裂了。人们将断头从海中提起来后，发现电缆上长满了种类惊人繁多的生物。这些生物生活在黑暗冰冷的海底，承受着海水的巨大的压力。1964 年潜入波多黎各海沟沟底的科学家们在报告中说，甚至在 8 380 米的深处也还有大量的生物生存。

在阳光照耀的水面以及阳光能够穿透进入的深水里，生物是最多的。这里是浮游生物的王国。浮游生物 plankton 的名称来自希腊语 planktos（“漂流”，或者“漫游”）。浮游植物和动物太小、太弱，什么也干不了，只能随波逐流。阳光照耀的水体也是鱼的栖息地，它们以浮游生物为食，并且互相吞食。

在大陆架的浅海底部有数量极大的生物，它们或爬行、或游泳，或附着在砂砾或者岩石上，它们是有壳的水生动物、蠕虫、水母、鲎、珊瑚、海绵以及其他许多物种。在深海里有一些奇怪的鱼，它们对所处环境的黑暗和极其巨大的压力有特殊的适应能力。

这些鱼吞食其他鱼类和浮游生物，也吃从上层的水落下来的其他营养物质。有些鱼发出柔和的微弱的光，它们移动身体的时候会照亮海床。它们所以能在深海的巨大压力下存活，是因为它们自身体内的压力与外边来的压力一样大。

从海底“摔”到海面的奇怪的危险

虽然海洋深处栖居的动物能够在水的巨大的压力下生活，它们也会遭遇意外的事故。某些生活于海底的鱼在寻找食物的时候如果升到压力均衡层以上，它们的身体变轻，将向上浮起。如果它们的浮鳔不可控制地扩张，这些深海鱼就会滚翻到水面上来。

海洋勘探

不久以前，海底旅行还是一个不可能实现的梦想。因为压力随海洋深度增加而增加，没有呼吸器装备的潜水员只能到达 30 米左右的深度。1943 年法国人库斯托和加格南发明了一种自带水下呼吸器(SCUBA)，开创了浅水域勘探的新纪元。许多与深水压力变化以及低温潜水相伴而来的问题，随着新的潜水技术和设备以及新的潜水服装的问世而缓和了。

为了克服长时间进行海洋勘探的限制，往往采用相对稳定的平台，减小海浪造成的波动。有的还有潜水员可以在 23 米深的水下进出的观察室和减压舱。

用于潜水的小型深潜器如“的里雅斯特”号和“阿基米德”号，可以潜入海洋最深的部分。瑞士的皮卡德设计的深潜器有一个潜水舱、一个蓄油室和压载。

深潜器要潜入水中的时候，它排放汽油；它要升出水面的时候，卸掉压载。1960 年皮卡德和美国海军上尉沃尔什乘“的里雅斯特”号潜入马里亚纳海沟的挑战者号海渊，创造了深潜 10 919 米的记录。潜水员使用约翰逊海下对接潜水器，在深 457 米的水下可以离开和重新进入增压到与外界水压持平的潜水舱。

“阿尔文”号和“深海搜寻”号都是中等规模的潜水器，设计在深度接近 4 000 米的地方操作。“阿尔文”号在 1986 年法国-美国海洋学家联合考察中拍摄到北大西洋底的“泰坦尼克”号的残骸。伍兹霍尔海洋研究所的 R. 巴拉德和法国海洋研究和勘探研究所的同行们用“阿尔文”号和各种远距离操纵机械器具(ROVs)考察残骸现场。巴拉德考察队因为使用了称为“地球物理海底声波导航探测”(ANGUS)的海底机器人系统，拍摄了 53 000 张沉船的照片。

在水下生活与工作

安置在海底的栖息地和实验室，使人们可以长期停留在水下。1963 年库斯托和一个 7 人小组在红海海底的“大陆架-2”号里居住了一个月。1965 年 6 名法国科学家在地

中海 100 米深处"大陆架-3"号里生活了三个星期。1964年海底观察员在水深 59 米的百慕大海岸的"海底实验室-1"号里生活了 10 天。1965 年又在"海底实验室-2"号于加利福尼亚州拉霍亚附近、水深 62 米的太平洋里度过了整整 45 天。1969 年又进行了一次海底生活实验，4 名海底观察员的"家"是"特克蒂特-1"，他们在维尔京群岛水面以下 18 米深处生活了 30 天。

海底钻探寻找石油和天然气获得了有商业前景的成绩，促进了许多方面的发展，扩大了海底油田操作的范围。例如把"收帆索多功能气密小座舱"放入海中，它将与事先安放在海里一个井口上的舱相衔接并且形成密封圈。然后将座舱里的水抽出来，在表面大气压力下安装好井口的阀门。海底施工的计划常常搁浅，因为这些设备装置的建造和维护的费用太高。

今后海洋学的努力方向将会包括打井机和平台，改进了的水下焊接技术，以及潜水施工装备等大型建筑物的海上装配。现在通常用水下推土机挖掘以及建造水下建筑物。20 世纪 80 年代后期和 90 年代前期，人们建设了连接英格兰与欧洲大陆的海底隧道。

用仪器探测海洋的深度

20 世纪 20 年代以前，人们将一条悬挂重物的绳子在船舷边垂入水中，用来探测海洋的深度。20 世纪 50 年代后期，由于空间海洋勘探技术的发展，许多简单的机械装置已经过时。现代的海洋测试设备通常考虑的是系统检测，而不是单个的部分或者孤立的技术。

例如使用波尔登管或者韦尔管等压力计测定深度，测定的准确度常常只有 3%。声学方法便被用来检测装置与海底之间的距离。利用地震枪射击可以记录炸药爆炸产生的洋底地震波的反射声波，测定洋底沉积的厚度。导航回声测深仪通过垂直地向海底发送声波，记录回声返回经历的时间，得出海底地形的图像。卫星图像既可以描绘浅海海域图，也可以勾画出海洋最深水域的各个大的构造的总体轮廓。深水水样一般用南森采水器采集。水深 300 米以上水域的水样，由移动的船只上的斯皮尔豪斯采水器采集。测流计自动记录海流方向和流速，并且用于定点、漂浮和自由沉降等测流装置中。

测量水平面的各项变化，使用的是海洋学中最古老的记录仪器——验潮杆和浮动的仪表。气动测量仪表和公海仪表用来测量公海水平面的变化。有关波浪的数据由低空飞行器、卫星和浮标采集。"乘浪"("waverider")浮标网络常用来测量海面状况，数据由无线电或者卫星输送到陆上或船上的接收机。海面温度也是由飞机或者卫星通过观察一个特定的波长的红外辐射强度测量的。流体温度计测量深层海水的水温；盐液比重计测量盐度、温度和压力；取芯管和挖掘机从大洋底部提取沉积物和其他物质；不同类型的细目拖网从海水里采集小的植物和动物；拖网用来捕捉深海里的鱼。

海洋学研究和研究机构

海洋学研究需要庞大的经费。这通常由政府或者国际组织，或者实力雄厚的大学承担。第一次纯粹是科学性的海洋学考察被列为前所未有的最大的考察之一。英国的"挑战者"号在 1872 年到 1876 年间进行了一次环球航行。著名的 50 卷的"挑战者"号考察报告成为现代海洋科学的基础。第二次世界大战时期进行了大量的研究工作。自此以后，对海洋进行的勘探远远超过已往的全部历史时期。20 世纪 70 年代正值"国际海洋考察十年"，美国承担环境质量、环境预测和海床评估。

有许多大的组织在对海洋进行研究。例如海洋学联合大会(JOA)是各个大的非政府科学组织联合主办的。联合国教科文组织(UNESCO)下属的政府间海洋学委员会主办了为数众多的长期考察和研究项目，例如"未来海洋研究"(FORE)。

有些组织有海洋表面科学研究船，例如加利福尼亚州拉霍亚的斯克里普斯海洋研究所；罗得岛金斯顿罗得岛大学海洋学研究生院(纳拉甘塞特海洋实验室)；马萨诸塞州伍兹霍尔的伍兹霍尔海洋研究所；北卡罗来纳州联合大学和北卡罗来纳州博福特的杜克大学海洋实验室；俄勒冈州(纽波特)俄勒冈州立大学；英国普利茅斯英国海洋生物学学会实验室；英国萨里国家海洋研究所；意大利那不勒斯动物学研究站；摩纳哥海洋博物馆。(参见：**海洋学**)

撰文：Charles William Finkl, Jr.

海滩和海岸 BEACH AND COAST

紧靠湖、海或洋的陆地称为岸。海岸分类的根据是它的自然形成过程，它的岩石物质的类型和结构，以及它们遭受风和水的作用。海岸地貌可以分为海岸原生地貌、海岸侵蚀地貌和海岸堆积地貌。海滩属于海岸堆积地貌。

海岸地貌

海岸原生地貌是指海岸地区由突然事件产生的地貌，例如因为火山喷发上升到海面上来的地貌。这种类型地貌有两个著名的例子，一个是 1963 年冰岛附近突然出现的苏尔采岛；一个是 1929 年出现于印度尼西亚的小拉卡塔岛。

由于陆地的侵蚀或者说磨损出现的地貌，造成了一些世界上最美丽的海岸地区。许多岩石海岸边缘的悬崖峭壁就是这样的例子。波浪的猛烈冲击使岩石较低部位变得松软，最后悬崖上方的岩石滚落水里，留下一堵崖壁，下边布满碎石。

海岸地貌取决于承受水和风作用的岩石。火山岩悬崖通常是陡峭的。北爱尔兰壮观的巨人堤就是火山玄武岩构成的，海水把它雕刻成一根根石柱，像蜂房的巢室那样地排列在一起。通常花岗岩这类结晶质岩石受侵蚀后呈现浑圆丘状，而石灰岩则往往形成差不多是垂直的悬崖。

有些海岸地段显示更新世冰期冰川活动的作用，它将海岸附近的河谷拓深成为峡湾。最典型的峡湾的例子见之于挪威、不列颠哥伦比亚、阿拉斯加和新西兰等地。全球多数大湖都出现在冰川作用挖掘出来的盆地里。在加拿大、美国的北部和芬兰，这种湖泊数量最多。

海岸堆积地貌是沿着海岸堆积的沉积物造成的。波浪

搬运来后沉积在海岸上的沉积物，例如泥沙、砾石，或者压碎了的海洋动物的壳和其他的有机质等组成了海滩。所以会形成海滩，是因为波浪向岸与离岸的速度不一样。如果向岸与离岸的波浪运动的速度和持续时间相同，沉积物就不会留在海岸上了。

另外一类海岸堆积地貌是河流的三角洲。三角洲是位于河口的呈三角形的泥沙堆积。泥沙之所以能够堆积，是因为它的重量超过了海流的力量，海流不能把泥沙搬往更远的地方。

海滩剖面图

有三种海滩。一种是狭长的堆积体，由沙和砾石组成，见之于岩石岸段或悬崖岸边。一种是自由海滩，是人们游泳和日光浴的大家熟悉的地方，是沉积物堆积而成的相当宽阔的场所。另外一种海滩的例子是得克萨斯州和佛罗里达州东部与海岸平行的、为堆积物覆盖的堡礁。这些海岸沙堤通常固定在稍微淹没在水中的基岩或者坚实的黏土上，可能延伸几十千米，或者几百千米长。这些沙堤将泻湖与大海隔离开，并且时常被潮水通道切割成一段段的。

承受潮汐作用的滨海海滩从纵剖面看可以分为几部分。离水最远、海浪很少波及的部分是前沿沙丘。在前沿沙丘下面的是阶地，阶地上有一系列称为滩肩的暴风浪造成的突起。滩肩下面更低的阶地是前滨或者说低潮阶地，其中有的可能已经位于水位线以下了。阶地以下的是水下沙坝和水下浅槽，它们的走向与海岸线平行。这个水下地带称为水下海滩，往往为海洋动物的壳和砾石所覆盖，因为重量大，正常海浪的挟沙能力不足以将其带出水面。

海滩的形象是不断地在变动着的，每个季每个小时都在变。它取决于漂流的沉积物的性质和大小以及波浪的流速。波浪的作用可以破坏一个海滩，然后又把它重新建立起来，这一切可以发生在一天的时间里。在有强大的风暴的冬季里，海滩外露的部分变窄了，有的地方甚至于消失了。春季来临，海滩又重新发育生长，夏季里发育到最大的规模。海滩这种暂时性变化的幅度可能达到 3 米高，50 米宽。

组成海滩的沙

世界上温带地区的海滩上的沙主要是石英沙。有些沙是长石，仅有少数含有较重的矿物质。在热带地区的许多海滩为海洋生物的遗体和沉淀的鲕状岩（细小、圆形的碳酸钙颗粒）所覆盖。

有的时候海滩沙下层的物质被地下水沉淀的碳酸钙硬化在一起。这种现象往往出现在附近沼泽的淡水渗入海滩的时候。如果海滩被侵蚀而后退，它下面的硬化层就露出来了。这就是海滩岩，广泛出现于热带地区，以及沿地中海、黑海和里海的海岸。

海滩保护

如果听其自然，海滩通常是自我平衡的。它将随季节交替而生长和破坏，只是在很长的时期内逐渐变化。码头、栈桥和防浪堤之类的岸上的建筑可能使自然的模式改变，使码头一侧受到侵蚀，另一侧沉积物过多地堆积。自然水流模式被破坏后，港湾和水道可能发生淤塞。可能需要疏浚。已经有了特殊的技术使水和沉积物分流，从而使堆积均等。

没有海滩的坚固的岩岸很容易被海摧毁。海滩时刻保护着海岸。有时候建造防波堤（根据海滩的性质伸出海中 30 到 200 米）用来保护海岸免受侵蚀。在黑海海岸就兴建了这种堤坝。

近年来用取自海底或附近沙丘的泥沙人工地修补了一些海岸。在美国和北海的诺德奈岛等许多海岸都这样做了。

海洋波和潮汐 OCEAN WAVES AND TIDES

海洋和其他的大水体的最惊人的外貌除它们的浩瀚之外，是它们表面的永恒的运动。波——细波、波峰和波谷在水上的传播——是这个汹涌的、翻滚的和其他扰动的外貌的原因。

潮汐是海水规则地上升和下降的现象。沿着海岸，在小港和港湾内都可观察到潮汐。

海洋波

风是海洋波的最常见的原因。由风引起的波的高度范围从 2.5 厘米以下到 18 米左右。在岸边破碎的波，被称为拍岸波。

引发海洋波的还有地层的扰动，例如海底的地震和火山爆发。由水下地震引起的波称为海啸或它们的日本名“律波”。

海啸有时被不正确地称为潮汐波，但它们和潮汐毫无关系。靠近海岸时海啸波变得很高并引起大破坏，但在深海中却不能被人眼发觉。

海洋波的形成和量度

水面上大气压的变动，使阵风向下吹往水面，引起水的位移，形成了波。此外，风还要牵引水粒沿风向运动——即给水以切变力。

风给水表面的向下和切变的综合效应，产生了波。科学家对这个综合作用的性质，至今还不能作出一定程度的明确结论。

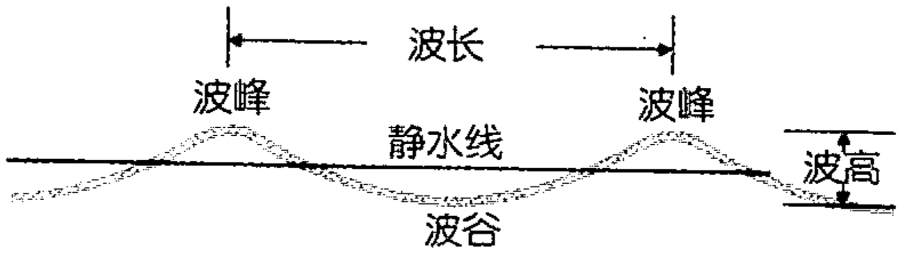
波按它们的大小分类。波的最高部分称波峰；最低部分称为波谷。波的大小指它的高度，即波峰和波谷间的垂直距离；而它的波长指这个波与下一个波间的距离，由波峰到波峰或波谷到波谷的距离来量度。它的周期指一个波通过固定点所需的时间。

当测定的波长小于水的深度时，所形成的波称深水波或短波。风在开阔的海洋和很大的湖（如美国的密歇根湖）中产生的波就是这类波。当波长大于水的深度时，称浅水波或长波。海啸是浅水波，因为它们的波长达 161 千米，或更大一些，而海洋的最大深度约为 10.9 千米。

在风产生的波到达最大高度的海区里，波被称为大浪或受迫波。它们往往会很陡，碎裂或翻卷。当波从它们产

生地区传播后，它们变得更长和更平滑。在这种状态下，它们被称为涌浪或自由波。源自南极风暴洋的波出现在几千千米外的热带时可能成为离岸的涌浪。波的传播速度，取决于波的周期和波经过处的海水深度。

水波的尺度



波形

海洋中见到的波如此不规则，没有两个波完全一样。由于形成波的力的复杂性，科学家常使用理想的波形概念，使波形象化且便于讨论。

在理想的水波中，水粒子在垂直平面内循环运动——当波接近时它们向上运动，当波峰过去时向下运动，然后回到它们原来的位置。在真海洋中，波涛是不规则的，水粒子的运动也是不规则的，它们的途径也不是完整的循环。水粒子在水波的传递方向上运动轻微。这个运动称为水的质量的输运。输运的速度只是波的速率的很小的分值。水粒子近似循环运动的波全被通称为前进波。

看上去水的前进波像是从一点到周围各点。例如，石子落入平静的水池中时，水似乎从石子击水处向池边运动。事实上，水只向前一点点；所见到的只是波在水面上行进。浮在水面上的树叶当每个水波在它下面通过时，它只是上下浮动，而沿着水的表面前进一点点。

另一类型的波是驻波。两个同样的行进波，波速相同而方向相反地通过同一区域时，就可形成驻波。驻波可以在鱼缸中形成：将鱼缸稍稍倾斜然后回归到原来位置，鱼缸两端的水平面将或上或下互作逆向的运动，而鱼缸中间的水停留在几乎不变的水平上。另一种类型的驻波称湖啸，它发生在大湖和半封闭的水体例如港湾和海峡中。

海浪预报

不规则的海浪由许多理想波形成。分析一个海浪发现它是由那些简单波形组成的，可以确定它的海浪谱。通过海浪谱的研究可以预言观察点的海区情况。给定海区的海浪谱也能够由对风的情况的了解而确定。有可能预报在某处将出现3米以上的波浪，甚至预报海浪的最高高度。

在不远的将来，高速电子计算机可能使科学家预报几乎任一海区的海浪谱。这些计算机只需要风速和方向的数据。海浪预报对海军和商船都很重要。它帮助船长避免进入巨浪区，保证旅客有较平稳的旅程和人、货的安全。美国海军部和许多当代海运公司都将海浪预报作为确定航线的助手。

潮汐

潮汐发生在全部水体中。像湖泊和池塘等小且封闭的水域中，水面升落小，常不被注意就过去了。在海洋的大陆边缘，沿海岸和在海湾、海港内，潮汐就显著多了。在外海、外洋中，潮汐的最高和最低水面间的落差约0.6米到1米。沿大陆的海岸线，特别在逐渐变窄的海湾里，差别可以大得多。纽约港的最高潮汐约为1.7米。在波士顿港，水面可升高到3米。在加拿大的新不伦瑞克和新斯科舍间的芬迪湾，潮水能升到高于低水面的16.3米处，而在例外的暴风雨中升得更高。

高潮和低潮

在大部分地区，潮汐每天升降两次，每次升高达最高水平称高潮，每次潮位降到最低时称低潮。上升到达高潮约需时间略大于6小时，约在6小时后降到低潮。这个序列称为潮汐循环。全循环要12小时25分钟，然后重复开始新循环。在一个潮汐周期中水平面的变动数量称为潮汐范围。

在地球上的一些地区，一天只有一个潮汐的整循环。这类潮汐称逐日潮，主要在阿拉斯加和墨西哥湾可看到这类潮。

其他海域有混合潮，在两次高潮中间只有一个稍低的潮，接着有一次显著的低潮。混合潮主要出现在太平洋，那里的海岸线形状影响了潮水。

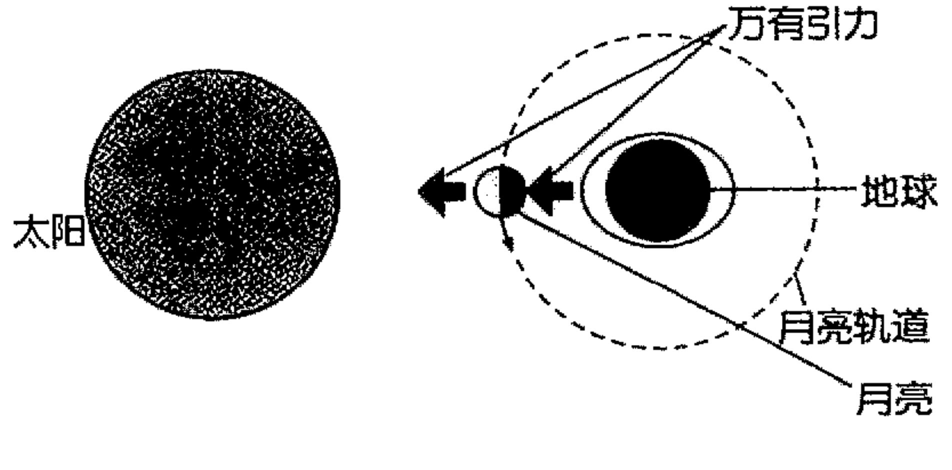
和潮汐升降密切相关的是潮流，由潮汐引起的水的水平流动。在外海、外洋中潮流循环运动，不断改变它们的方向。在半封闭的水体如海港、海湾和河口，潮流成为水的来回运动。在某些海域潮流可达到高速度。

天文潮

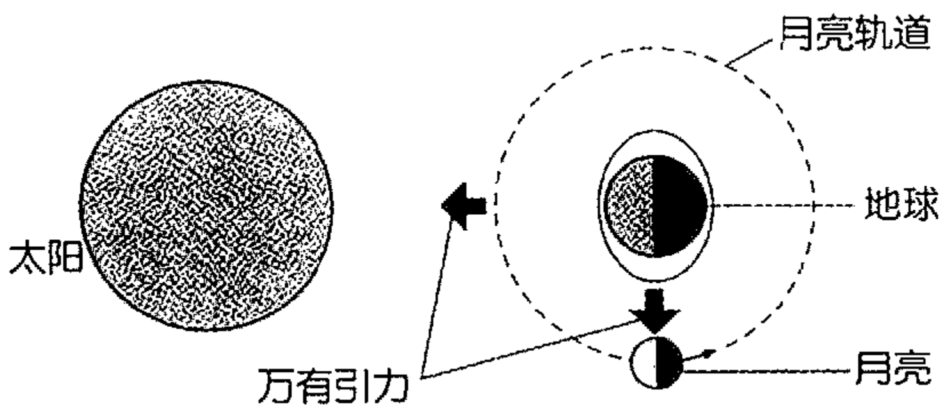
许多世纪以来，海边居民和水手对潮汐已经很熟悉了。然而他们并不理解它，直到17世纪，牛顿提出了万有引力定律（见：**牛顿**）。根据这条定律潮汐是由太阳和月亮对地球的引力产生的。因此，称它们为天文潮。

对海洋的太阳引力效应只有月亮的一半。这看来很奇怪，因为月亮比太阳小得多。月亮离地球比太阳近得多，因此对潮水有较大的影响。太阳系的其他行星离地球太远了，对地球上的潮汐没有明显的影响。

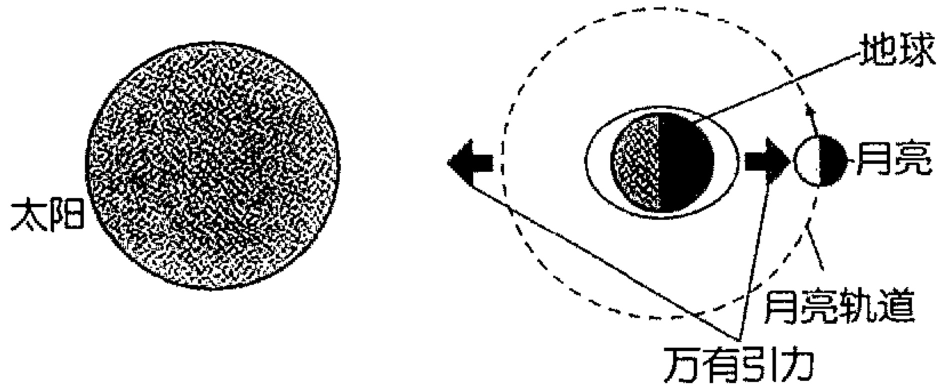
新月大潮



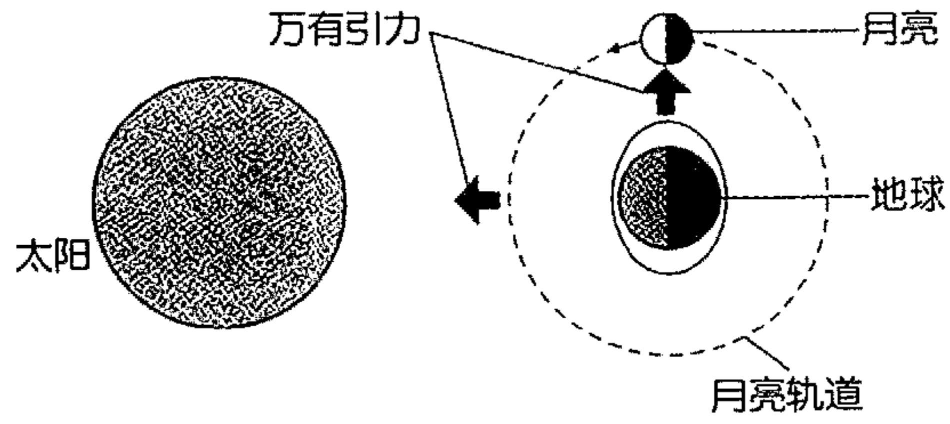
上弦小潮



满月大潮



下弦小潮



月亮和太阳一起拉引，形成了新月的大潮。它们将地球上靠近它们的一边的水引离地球，而在地球远离它们的一边将地球引离水。月上弦时，月亮和太阳的引力互相垂直形成上弦小潮。月亮的引力部分被太阳的引力所抵消。在满月的大潮中，月亮在地球的一边拉引，太阳在相反的一边拉引，它们一起将水引离地球，也一起将地球引离水。在月下弦时，上弦时的作用重复出现。在月亮绕地球的每次转动中，有两次大潮和两次小潮。

在月亮和太阳的引力作用下，直接在海水中形成一个堆聚海水的波，相似的波同时在地球相对的两边形成。这些潮汐波的波长是地球周长的一半，并因地球的转动，它们跟着月亮和太阳转。

当潮汐波到达大陆就引起高潮。如果海洋覆盖整个地球，这样由月亮引力引起的直接潮每 12 小时 25 分钟一次，由太阳引力引起的每 12 小时一次。

直接潮受到海洋深度、地球自转和它们接触的大陆边缘的影响，因此高潮并不准确地跟着月亮和太阳转。所以实际上的潮是间接潮。科学家至今还没有全面地了解实际潮。

在满月和新月时，太阳、月亮和地球在一条线上，它们的万有引力加在一起了。产生的高潮高于平时，称大潮或朔望潮（在欧美称春潮，虽然它和一年的季节毫无关系）。

当月亮处于上弦和下弦时，太阳和月亮与地球成直角关系，太阳的引力作用部分地抵消了月亮的引力作用，这时的潮汐低于平时，称小潮。

天文潮的预报

只靠对月亮和太阳的运动的观察预报天文潮是困难的。为了克服这个困难，需要长时间地仔细地测量水平面的升高和降落。

测量的仪器称潮汐计，将它们安放在潮汐预报所需的位置。按潮流调和分析的需要，潮汐计记录和月亮与太阳的运动直接有关的信息。从已知的未来的月亮和太阳的运动，就能预报潮汐。

气象潮和涌潮

一些天气类型也能产生水平面类似潮水的升降。这类现象称为气象潮。空气压强的变化，风使水在岸边堆积，甚至下雨或雪的融化都能引发气象潮。在封闭的水域里，气象潮可能完全盖住了天文潮。

在海洋中，潮汐的气象学效应和大海流有关，例如大西洋中的湾流和太平洋中的黑潮。这些海流体系被认为是相当稳定的。在近海和边缘海上，风暴时时引起风暴潮，使海平面上升几米高。在正常情况下，风速在几小时后就降低了。这类海平面的升高既非永远也非周期性的。

在长时间内，曾假定海水的总质量是不变的。因为相当数量的冰储积在两极地区，而且受地球的气候的正常变动的影响，冰的数量和海平面的高度有所变化。另外一个影响海平面的重要的因素是大陆的垂直运动。

当河流入海处的海岸线呈喇叭口形，进入河流的高潮就如一道水墙，称为涌潮。涌潮出现在一些欧洲的河流，也出现在芬迪湾北端的珀蒂科迪亚克河、巴西的亚马孙河和中国的钱塘江。

撰文：Rudolph Hollman 和 Willard J. Pierson, Jr.

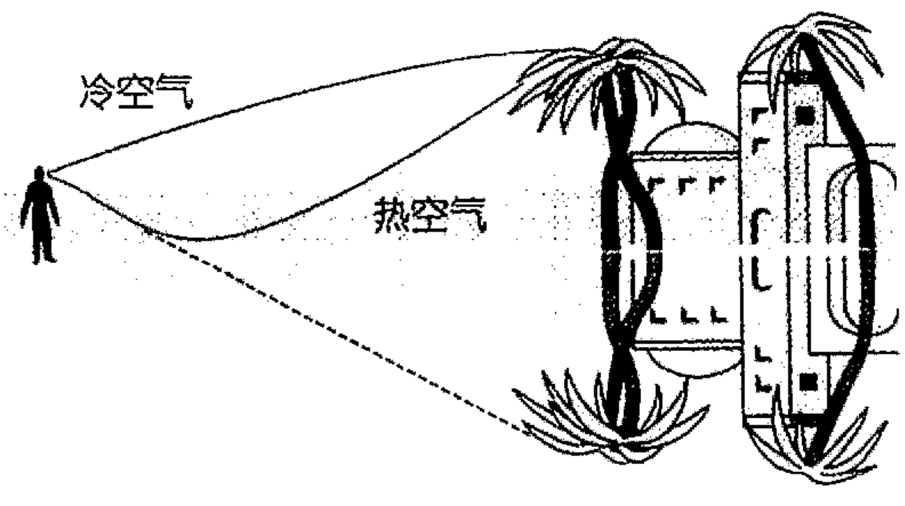
潮汐 TIDE 见：海洋波和潮汐

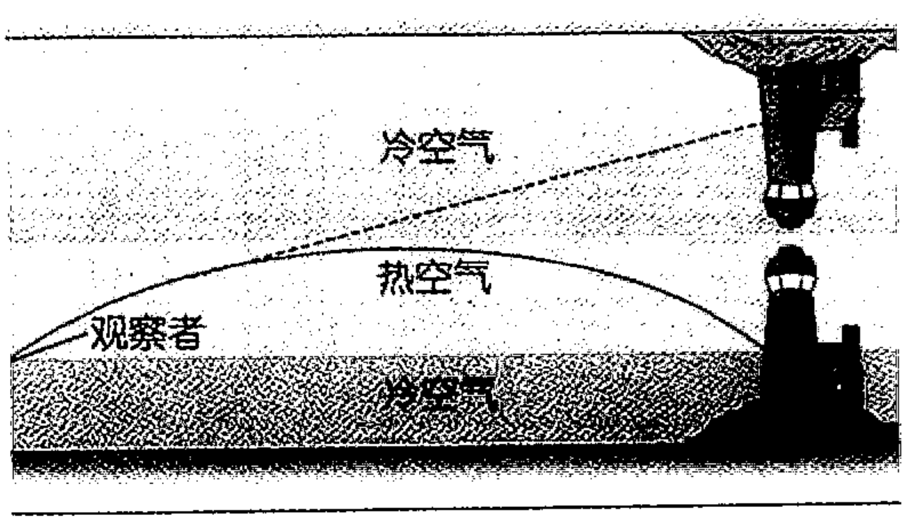
海底观察员 AQUANAUT 见：海洋

海市蜃楼 MIRAGE

常常有这样的故事，说口干舌燥的沙漠旅行者受到“幻景”的诱惑。那“幻景”是一片有葱绿的树林和平静水体的沙漠绿洲。依照这类故事一般的版本，旅行者向前奔跑，渴望把自己投入阴凉的水里。就在这个时候，幻象忽然消失，他又一次地置身于荒漠的烈日之下，离水十分遥远。这些故事说得很生动，但是它们全是

不真实的。旅行者如果真正看到了，那也只是他们想像中的幻象。不过，海市蜃楼是确实有的，而且有好几种形式。





左图黑线显示的是光线通过正常途径得出的正像。在适当的大气条件下，光线可能倾斜进入一层热空气里，然后向上弯曲（中间曲线），因此，对观察者说来，光线好像来自地面（虚线）。观察者看到的两个物体是彼此的镜像。在形成下现蜃景的条件逆转的时候，发生上现蜃景（右图）。这时候站在远处海岸边的观察者只见到灯塔的倒像。

海市蜃楼是光线在空气里弯曲或者说折射引起的现象。光线一定程度的弯曲是经常发生的，我们并没有把它产生的结果看做是蜃景。站在海边的观察者，常常可以看见事实上是位于他所在的地方的地平线以下的船只或者其他物体。

发生这种现象的原因并不复杂。地球表面的大气最重，密度最大。它的密度随高度增加而递减，离开地面越远，空气越加稀薄。这就使得大气的作用像一个巨大的棱镜，它的基部是最厚的部分。大气像棱镜那样，使所有的光线都向下弯曲（见：光）。从远处船只反射的光线，可能向站在岸边的观察者弯曲。于是他便清清楚楚地看见了船，尽管在他和船之间存在着地球的曲面。这种常见的折射现象一般不为人注意，我们没有意识到实际上这个物体位置是在我们所在的地方的水平线以下。

然而有的时候，同样的效应得到强化，我们见到称为幽影的一种蜃景。这个现象出现的时候，空气的密度梯度——离地面越远空气越加稀薄的比率——大于正常值。在这种情况下，站在大湖或者宽阔的海峡边的观察者，可能看到平日见不到的远方的彼岸。例如在芝加哥，人们有时候能越过水面，看见对面密歇根湖的东岸。东岸的沙丘离得太远，平时哪怕天气再好也是看不见的。

往往与幽影相联系的是称为上现蜃景的现象。例如，可能看见一条船在水平线上方船底朝天地颠倒着走。在这个倒像的下方，往往可以见到那条真正的船，但它也可能在水平线以下因此看不见它。上现蜃景的产生是因为水面上空相当远的地方悬浮着一层寒冷致密的空气。倒影通过这个逆温层到达观察者面前。从船的上部来的光线比从船的下部来的光线弯曲程度更大。结果形成了上下颠倒的船的形象。在此以上的其他各个空气层次，可能形成多个图像。关于上现蜃景的成因的另外一种解释是说逆温层的下表面起着镜子的作用，通过反射形成倒像。不过多数科学家认为这个表面太凹凸不平，不可能以这样的方式形成图像，图像是折射形成的。

最常见的蜃景类型或许是夏季经常在平坦和受热的表面上出现的下现蜃景。高速公路上在我们前面的一辆汽车可能看起来像是正在穿过一个浅水池子，在水里形成汽车的波纹状的倒影。形成这种蜃景的原因正好与上现蜃景相反。在这种情况下，紧贴炎热地面的上方，有薄薄一层受热的因而变得稀薄的空气。从汽车来的光线进入这一层空气的时候向上弯曲，汽车下面就出现一个倒影。下现蜃景常见于看起来像水洼的荒漠。这里的"水"就是天空的影像，观察者走近的时候，它就消失了。这种蜃景或许就是荒漠里看见复杂的海市蜃楼这种想像出来的故事产生的根源。

在各种蜃景之中，最著名的是"仙女摩甘"（Fata Morgana）。它出现在意大利西西里岛旁边的墨西拿海峡。这个以传说中的仙女摩甘（Morgan le Fay）命名的蜃景，以神秘的城堡的形式从海面上升起，形状变幻不定，时而高耸入云，时而压缩成为一条细线。它是一种复杂蜃景，可能是幽影和上现蜃景、下现蜃景两者的混合景形成的。空气层的变化，歪曲和放大了对岸悬崖峭壁和房屋的形象。房屋变成有六角塔的女巫的城堡。其他地方出现的复杂蜃景，也采用"仙女摩甘"的名字。

在热天里打靶的步兵说靶明显地颤动，就像蜃景。这是射手和靶之间地面上升的受热不均匀的空气造成的。一股股活动的空气起着透镜或者棱镜那样的作用，歪曲了靶反射的光线。如果透过一根火柴的火焰上方加热的空气看一个物体，这个物体也同样地会歪曲变形。空旷地方看到的"热魔"和热的散热器上方的"热浪"，都由于同样的原因。

气象学 METEOROLOGY

大气的种种情况，特别是各种天气现象以及它们对地球的影响是气象学的研究对象。这门科学运用物理学和化学阐明地球大气的动力学，目的在于理解大气的各种活动，对它们作出预报以及进行控制。

太阳是驱动地球上的天气的发动机。由于地球表面受热不平衡，大气处于永远不平衡的状态。各种天气情况是大气企图获得平衡而造成的结果，虽然这样的平衡是永远达不到的。这种无休止的力求平衡，加上地球自转的影响以及太阳和月亮的引力，使大气处于永恒的运动之中。庞大的气团通过移动和混合，上升和下沉，吸收热量和释放热量，产生变化万千的大气情况，这就是通常所说的天气。

分支

气象学和气候学两门科学都是研究天气和预报天气的科学。气象学研究的对象是给定的时间和地点的特定的天气情况，气候学则涉及延续相当长的一段时间的平均天气情况。

天气学和动力气象学是气象学的两大分支学科。天气学家利用同一时间的天气报告对现在的大气情况进行分析并且对它的未来情况作出预报。动力气象学家利用数学方程式对大气的变动作出描述。由于大气的行为遵循的是物理学定律，动力气象学家可以利用计算机求解方程式并对大气未来的情况作出预报，这种方法称为数值天气预报(NWP)。天气学家依照地区情况和地貌诸如大片的水体、荒漠以及山地等的影响对这些数值天气预报进行常规的修正。(参见：**天气**)

历史

第一本气象学专著《气象汇论》是亚里士多德在公元前4世纪的时候写的。它是2 000年来这门学科的权威著作。在气象学的整个近代史里，它的各个迅猛进展的时期都应归功于物理科学的发展。科学仪器的发明，诸如16世纪的风向标和温度计，17世纪的气压计，为系统的观测提供了方法。在17世纪和18世纪，玻意耳定律的发现，拉瓦锡对大气气体性质的说明，牛顿的运动定律，以及道尔顿关于支配空气里水汽作用的定律的发现为现代气象学奠定了物理学基础。

19世纪和20世纪里发明了电报，把气象科学推进到一个新的时期。电报使人们有可能迅速收集和分析世界广大地区的气象资料。无线电报使科学家有可能通过给气球、风筝和飞机配备记录仪器，探测上层大气。它还提供了从遥远的海洋、荒漠和热带雨林等地区获得天气观测资料的方法。施放浮标、气象卫星以及定高气球还能提供补充性资料。

数值天气预报在第二次世界大战以后随着强有力的能存储程序的电子计算机的发明而成为可能。数值天气预报将天气和天气预报的基础从主观立足点转移到客观立足点上来，成为天气预报领域里的一个重大的进步。

1963年，世界气象组织(联合国为促进气象学和水文学方面的国际合作而成立的专门机构)建立了世界天气监视网WWW(World Weather Watch的缩略词)。世界天气监视网的设置是为了改善全球的大气监视工作，使各中央加工枢纽能够迅速收集到气象资料和相互间交换这些资料。

卫星气象学是随着1960年第一颗气象卫星的发射而形成的。目前的气象卫星差不多连续地监视着全球的大气情况，给气象学家的日数据库补充巨额数量的信息。卫星不仅提供照片，因此有可能对天气系统从它开始形成的瞬间起就对它进行侦察和追踪，而且配备在卫星上的遥控传感器也将大气情况的数据流反馈回来。

实际上，社会的每个部门例如航空、航海、能源工业；饮用水管理和污染控制部门；农业部门、国防部门；此外当然还有公众，都受益于天气预报。再加上精确的天气预报变得越来越加重要。因此多数管理机构、许多大学，以及一些私人企业都资助从大气观测一直到改善人工影响天气的方法等一系列气象科研项目。现代的研究项目强调诸如雷暴和暴雨这一类当地天气情况的数值模式，研究人员正在发展能提供预报长达10天至30天的天气情况的计算机模式。

为了观测和监视危险天气情况，正在不断地改进雷达系统，其他新的系统将为气象学家提供大气情况的连续不断的剖面图。先进的卫星将监视从太阳延伸到地球的空间，包括地球的磁层、电离层以及大气层。近年来气象学的领域已经扩展到包括对其他行星大气的研究。(参见：**气候**)

撰文：Albert Snow

大气 ATMOSPHERE

地球以及太阳系的其他行星都是被薄薄的一层称为大气的气体包围着的。本文讨论的只是地球的大气。(关于其他行星的大气见**行星**。)

大气受重力的吸引紧密依附于地球。如果把地球比做一只橙子，大气就可以看做是橙子的皮。构成大气的空气的运动是自由自在的，有的时候是剧烈的。地球的大气主要由氮、氧、氩、水汽、二氧化碳组成，除此之外还有少量其他气体、固体或液体的粒子。

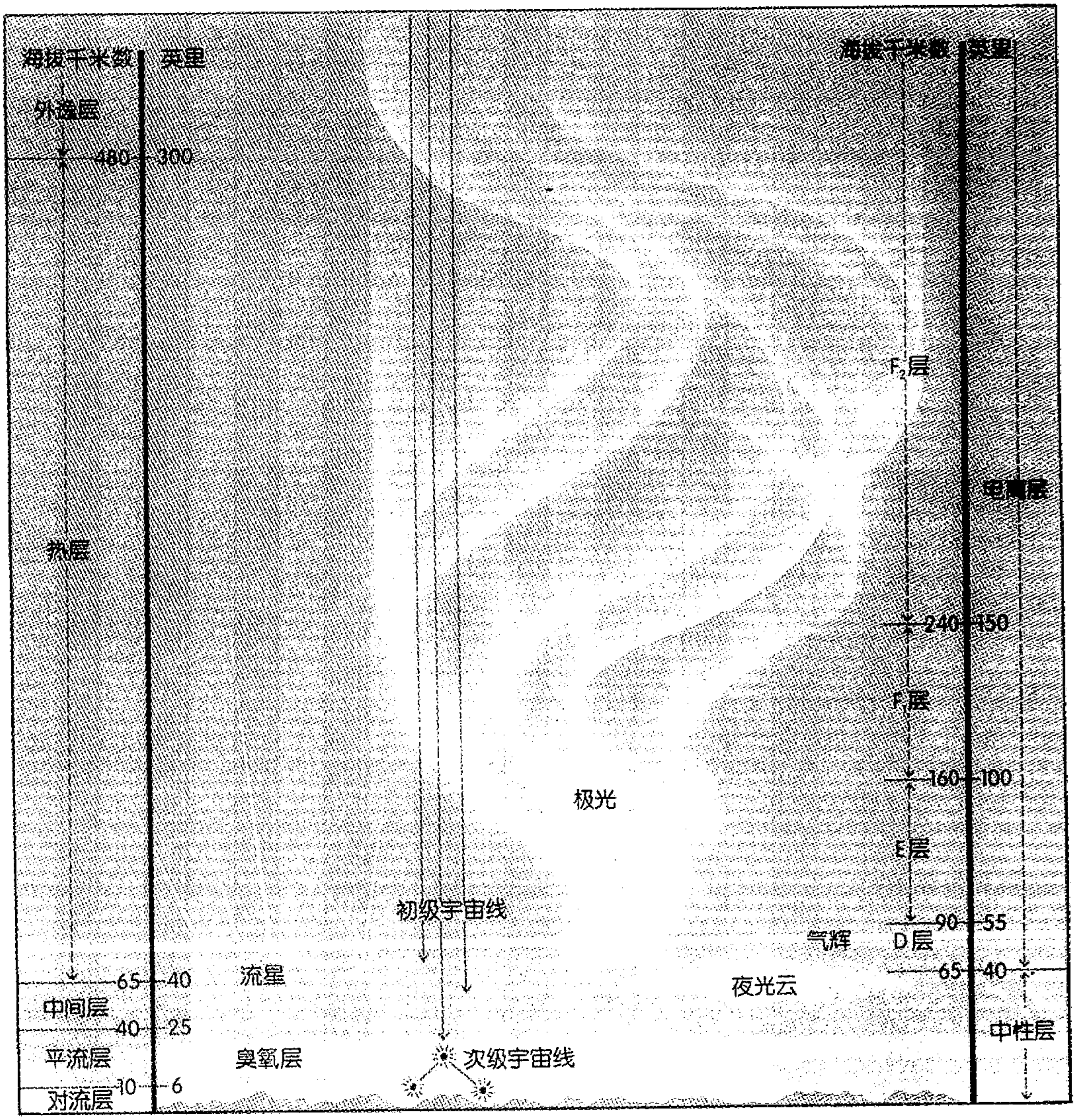
大气具有缓和地球上冷、热两个极端的作用。白天，太阳的热穿透空气使地球变热，大气捕捉这个热，减慢它向空间逃逸的速度。如果没有这个作用，夜晚地面就会冷得多。大气还在一定程度上保护着地球上的居民，使他们免受流星粒子、宇宙线、太阳和其他恒星的辐射、大气尘以及其他危害。

由于地球的自转以及温度和压力的变化，大气是一直在不停地运动着的。有的时候大气发生剧烈的变化，地球

上就会有相应的变化，例如天气、风、海流、闪电和虹。地球表面大的气团的运动会使天气变化，产生时速高达 160 千米的风。在大气与海洋之间进行着极其重要的物质和能的交换。海洋是天气必需的热、湿度和二氧化碳的巨大的仓库。反过来，大气也向海洋表面提供产生海流的动能。（参见：地球）

大气的层次

科学家提出了大气的三种不同的分类系统。他们是根据不同温度、不同电磁特性和不同的组成成分划分的。



科学家将大气划分为若干层。图中左侧层次以温度为划分标准，右侧层次按电磁性质为划分标准。每一个层次都有一定的大气现象特征。

温度 科学家根据温度将大气分为 5 个层次。对流层从地球表面向上延伸 10 千米。这是大气中最靠近地球表面有天气变化的一层，它的特征是离地面越高，温度越低。在这一层大气里，风往往垂直地运动。平流层向上伸展到离地面 40 千米处，它的特征是温度随着高度而增加，多数情况下是水平运动的急流。平流层的显著特征是臭氧层。臭氧层的位置在地面以上 16 千米到 32 千米之间。它吸收来自太阳的有害的紫外线辐射，对地球起保护作用。20 世

纪 80 年代后期，人们关注臭氧层被污染的问题，并始采取措施防止它被破坏。

中间层向上延伸到距离地球表面 65 千米的地方，它的特点是高度增加，温度骤降。中间层的夜光云是它的显著的特色。夜光云是水汽或流星尘形成的在夜间闪烁发光的云。热层向上延伸到 480 千米高空，它的特点是随着高度增加，温度迅速升高。受热的大气粒子造成阳光再辐射，因此发光，这一现象称为气辉，气辉正是在热层里出现的。极光也是这一层的独特的特征。位于热层之上的大气的最上层是外逸层。这一层里空气的密度极小，以致于温度的概念已经丧失它通常的含义。外逸层充满紫外线，称为黄道光的微弱辉光是这一层里的流星尘埃反射太阳光造成的。

电性 科学家根据电性划分大气的层次。总的说来他们认为 65 千米以下是中性的大气，它的上面是电离层。带电粒子或者说离子的电离层又可以根据电离程度的大小再进一步分出层次。

D 层往上至 90 千米。从 90 千米到 160 千米高度是中等电离程度的 E 层。E 层是太阳 X 射线造成的，主要由氮和氧的原子组成。它反射相对比较长的无线电波。F 层又分为 F_1 层和 F_2 层。F_1 层位于 160 千米到 240 千米高空，主要成分为氧原子，反射短一些的无线电波。它的电离的程度有很大的变化，到了夜间这一层完全消失。F_2 层在地面以上 240 千米以上，是电离层各层中密度最大的一层，主要成分为强氮离子，反射非常短的无线电波。在这一层外边界以外的是磁层，是地球的磁保护层，使地球免受太阳风的电离冲击。

成分 在距离地面约 100 千米以内的大气层较低的层次，湍流造成大气组成元素不停地混合，因此大气的成分是相对均匀的。这些部分就构成均质层。在均质层以上是非均质层，其中不同的元素都有分离出来的倾向。较重的元素如氮和氧随高度增加而密度递减，因此最后大气里占优势的是氦和氢这样的较轻的元素。在电离层最外面的部分，氦在约 960 千米处开始占优势，氢在 2 500 千米以上占优势。

大气的重量和压力

大气的总质量估计为 4.99×10^{15} 吨。这个质量约略相当于地球总质量的百万分之一。空气在海平面上最重，因为空气分子受到它上面空气的重压。高度增大的时候，空气分子以更大的空间互相分开，它的重量就变轻了，空气的压力也减小了。空气在海平面的压力是 1 013 百帕。在 3 万米高空，空气的密度很低，压力只有 12.2 百帕。

天为什么是蓝色的

射到地球上来的太阳光线看来是白色的。然而白色光是由光谱中全部颜色的光波组成的，每一种颜色都有不同的波长。当各种光波通过大气的时候，太阳光受到空气分子和尘粒以及水汽分子的反射和折射。这种散射过程被称为漫射。与长的红色光波相比，短的蓝色光波被散射和重散射的范围更广。因此天显得是蓝色的。外层空间是黑色的，因为那里没有散射光波的大气。

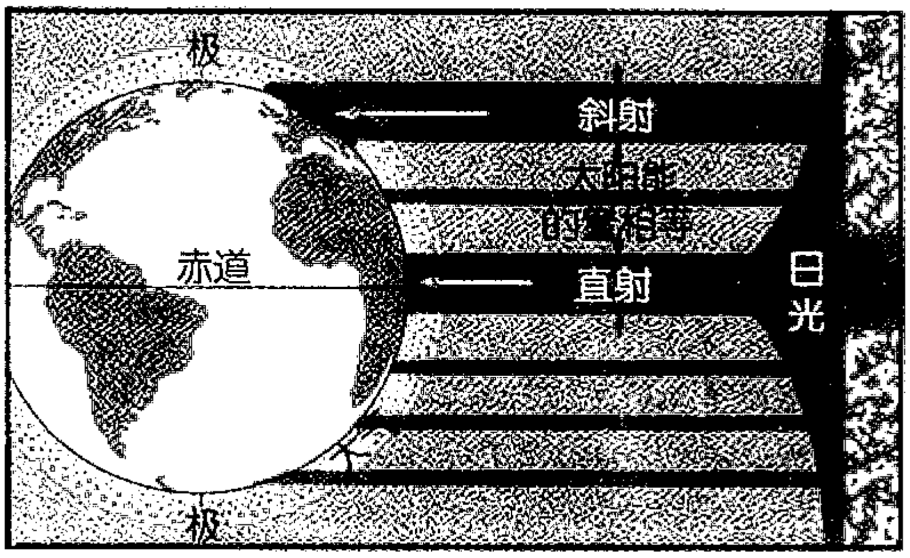
气候 CLIMATE

气候是一个地区一般的长期的天气，或者说大气状态。它还包括天气的许多变动以及极端情况。因此气候可以说成是一个地方的许多天气情况的总和或其历史。气候的叙述包括气温、降水、湿度、风、云和积雪等气象要素。

决定气候的自然因素

决定气候的各种自然因素包括纬度、水陆分布、盛行风与高压带和低压带、洋流、高度、地势起伏、云和气旋活动。

纬度 大气里空气的大规模运动，以及大气与地球的陆地地面和水面交换热和水分是天气和气候的本质，这种运动和交换需要大量的能。这个能来自太阳。进入地球的太阳辐射或者说日射，不是平均分布的。接近赤道的低纬度地区比接近两极的高纬度地区获得多得多的日射。这主要是因为作为决定气候的主要因素的纬度决定阳光照射到地球表面时的角度。同时纬度也决定白昼的长短，或者说太阳能不论以任何角度到达地球的时间的长短。

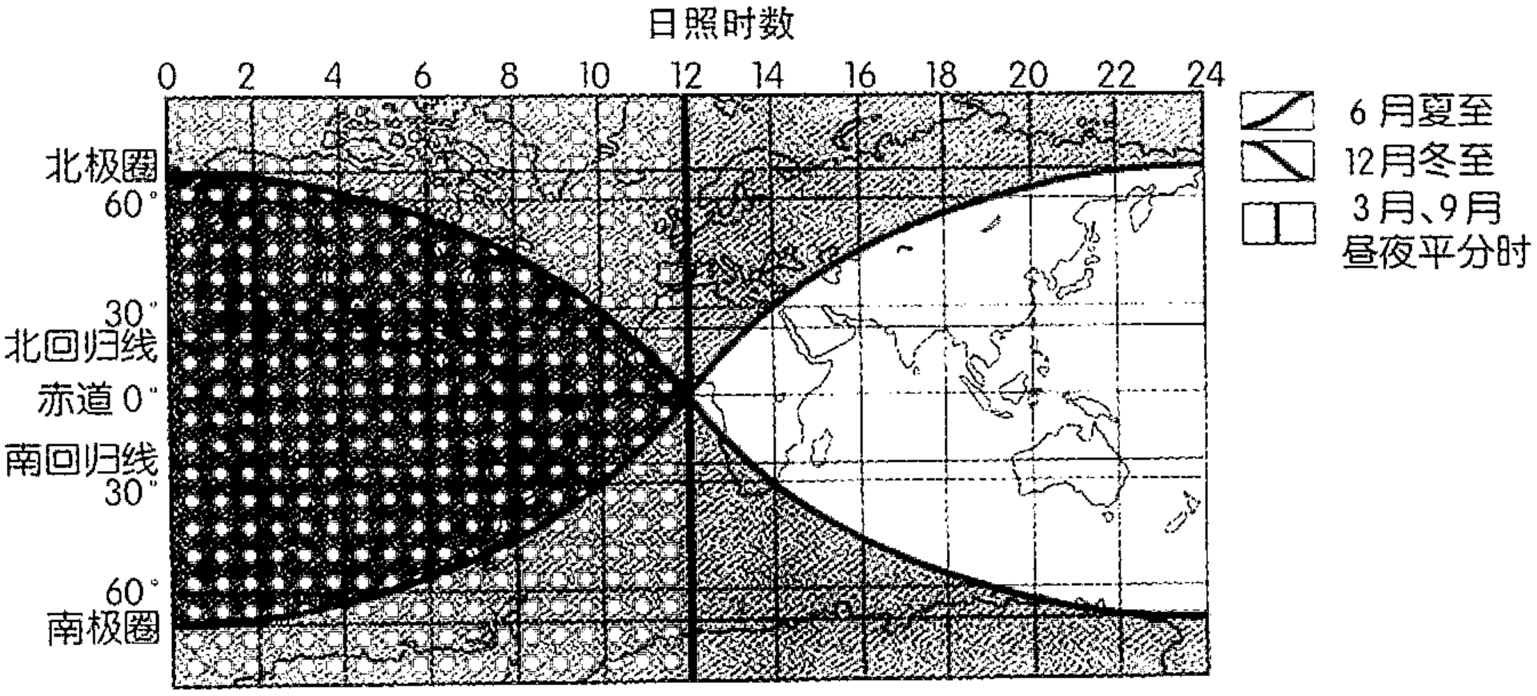


赤道附近接受的太阳能比极地附近的多，因为太阳辐射在赤道更为集中，穿过的大气层薄，被大气吸收的辐射较少。

只有北纬 23.5°（北回归线）和南纬 23.5°（南回归线）之间赤道附近地区，得到直射的阳光。从这些地区往两极走，平均太阳高度角随之减小。结果是太阳能在高纬度地区比在低纬度地区分散的范围更大，又因为许多太阳能被大气吸收和反射了，到达地面的太阳能也因之减少。

在春分、秋分的时候（大约 3 月 21 日和 9 月 21 日）地球上一切地方的白昼长度都是 12 小时。赤道上白昼总是 12 小时，从赤道往北极、南极走，夏天白昼变长，到夏至（北半球大约 6 月 21 日，南半球大约 12 月 21 日）白昼最长。

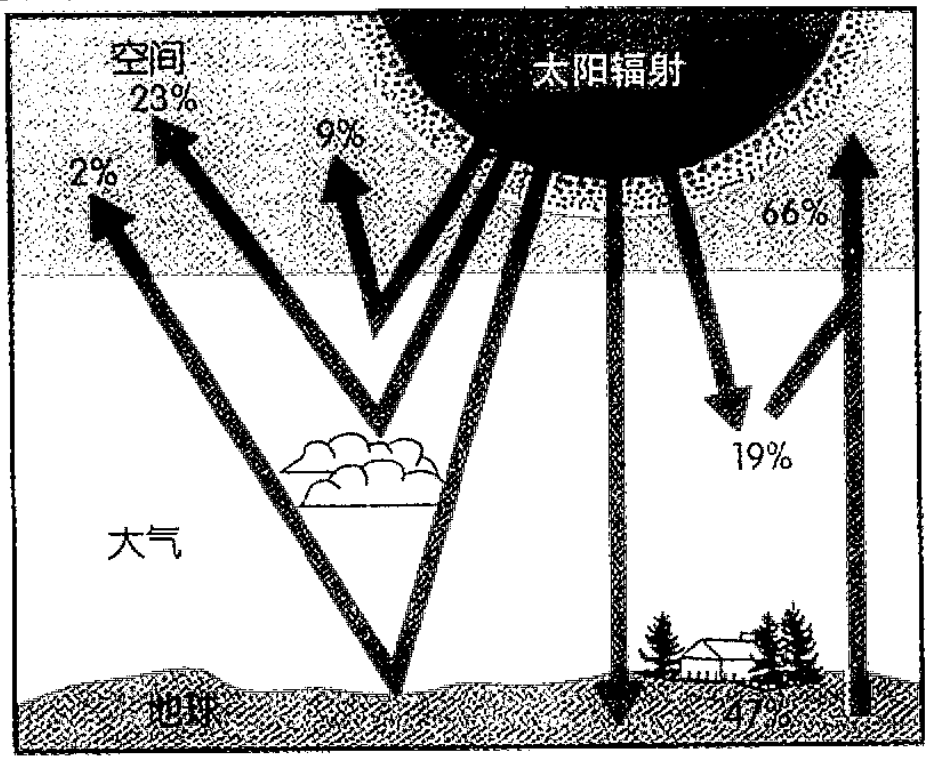
日照最大的地带，随着头上的太阳在赤道上来回移动。夏季里，往两极的方向白昼更长，增温更多，这个日照最大地带随着超过了北回归线或南回归线，7 月里到达北纬 30°和 40°之间，1 月里到达南纬 30°和 40°之间（参见：**地球；纬度和经度**）。



日照的长度随纬度和季节而有所不同。北纬30°地方6月里日照达14小时，12月里却只有10小时。北纬60°地方6月里日照长达18小时，12月里却不满6小时。赤道地方的日照永远为12小时。

在低纬度地区，地球得到的太阳辐射的热，比从地球辐射到天空去的地球丧失的热多。在高纬度地区，地球散发的热比获得的热多。如果不是因为风和洋流不断地把热从低纬度地区传递给高纬度地区，这种不相等的增温和降温将会使热带的温度不断增加，南北极地区的温度不断降低。

水陆分布 陆地和水面的不规则分布是决定气候的重大因素。在同一纬度上，大陆比起海洋来，夏天更热，冬天更冷。这是因为大片陆地的增温和降温比水体快。因此水体有缓和附近陆地的气温的趋势，冬天里使它温暖，夏天里使它凉快。像欧亚大陆这样的大片陆地的内地较少受海洋的影响，所以气温年较差比沿海地区和较小的陆地要大。大片的永久的冰的表面也影响气候，它使冰面和附近的陆地和水面上空的空气变冷。



到达地球的能量与离开地球的能量是相等的，二者是平衡的。地球约接受总辐射量的47%，大气约接受19%。大约有34%反射回空间，其中云层反射23%，大气反射9%，地表反射2%。

盛行风与高压带和低压带 是决定气候的一个重大的因素。沿着赤道有一个称为赤道无风带或者热带辐合带（ITC）的低压带。在赤道低压带两边，南北两个半球纬度25°和30°之间，是一个海洋上空的高压中心带。从这些副热带高压带的赤道这一侧例如北太平洋上空的夏威夷高压带，吹着温暖湿润的热带东风，或者说信风。

从副热带高压带靠北极或南极的一侧，大约是北半球和南半球纬度60°的地方，吹着湿润的较冷的盛行西风。在南北纬度大约60°的地方各有一个低压带，它的中心在海上。

吹向副极地低压带——例如北太平洋上空的阿留申低压带，不但有西风，也有来自位于北冰洋和南极洲的极地高压中心的冷的东风。

气压和风带都随着头上的太阳而移动。当北半球处于夏天的时候，它们往北移；当南半球处于夏天的时候，它们往南移。和气温型一样，气压型的东西排列因为世界上陆地和海洋的分布状况而被大大改变了。特别显著的是亚洲北部冬天的高压和亚洲西南部夏天的低压。这些高压中心，对冬天从亚洲吹出来、夏天吹向亚洲的季风有很大的影响。（见：天气；风）

洋流 大的洋流也是决定气候的一个因素。它们随着盛行风围着海洋副热带高压转圈，在北半球顺时针转，在南半球逆时针转。这些洋流流向极地地带（低压地带的西侧），它们从赤道地带带走温暖的水。它们流向赤道（低压地带的东侧）的时候，它们从极地地带带来冷水。像墨西哥湾洋流和北太平洋洋流那样的洋流，它们带着温暖的水围着亚速尔群岛高压地带向北向东，缓和西欧的气候。围绕北太平洋夏威夷高压地带以及围绕南大西洋、南太平洋和印度洋的高压地带也有同样的暖流。（见：海洋学）

高度 或海拔是又一个决定天气的因素。正像平均气温随着纬度的增加而递减一样，气温随着海拔的增高而降低。例如赤道附近的高山山脚可能有热带的植被，但在峰巅却有永久性的冰和雪。这样的反差是因为每升高1000

米，地面气温就降低6.4℃的缘故。

地势起伏 或者说地形，是另一个决定气候的因素。迎风的山坡，面对带着水分的风，通常比低些的、平些的山脚或者背风的山坡得到更多的降水。这是因为沿着山坡上升的空气膨胀和冷却，降低了保持水分的能力，经常因此产生水汽的凝结，产生云和降水。沿着山坡下降的空气压缩和变暖，提高了保持水分的能力，因此减少了可能发生的降水。这有助于说明为什么美国俄勒冈州和华盛顿州的海边降水量很大而内地一般是干旱气候。山脉也可能成为冷空气蔓延的障碍，阿尔卑斯山脉和其他欧洲南部的山脉就是这样地保护了地中海沿海大部分地区；同样地，喜马拉雅山保护了印度低地。

云 这个决定气候的因素一般是与湿润的气候相联系的。在有深厚的云层覆盖的地区，气温不那么走极端。白昼和夏天，云减少从太阳得到的热量，阻止气温升高。夜晚和冬天，云减少从地球辐射到空间的热量，阻止气温降低。

气旋活动 是决定气候的又一个因素。被称为锋面气旋或者气旋波的流动的低气压中心，通常是向东移动的而且是与产生中纬度和高纬度的各种天气的冷锋和暖锋系统相联系的。气旋波是沿着在冷的极地气团和暖的热带气团之间的波状锋形成的。气旋波冬季锋区的气温反差较大，也更剧烈。（见：**天气**）

气候的分类

不同的地方，不同的季节，气候有很大的差别。但是在千变万化的气候里存在着可能认识的秩序和形式。古希腊人设计的气候分类是最简单的和最早的分类当中的一种。他们注意到了气温和纬度之间的关系，把地球按南北方向分成五带或者说气候带：两个极地的寒带、两个中纬度的温带，以及一个热带。一个寒带在北半球的北极圈里，另外一个寒带在南半球的南极圈里。一个温带在北半球的北极圈和北回归线之间，另外一个温带在南半球的南极圈与南回归线之间。热带跨着赤道，处在两条回归线之间。

这个简单的气候分类一直用到现在，但是它忽略了纬度以外影响气温和气候的因素。现在应用最为普遍的分类系统是建立在1900年俄国-德国气象学家W.柯本的分类系统上的。柯本把地球表面分成不同的气候地区，一般是与植被和土壤的形式一致的。这些气候区之间的界线是用明确的平均气温和平均降水量来确定的。5个大的气候类型分别用一个字母表示。它们是热带多雨气候(A)、干旱气候(B)、温暖多雨（中温）气候(C)、寒冷雪林（低温）气候(D)，以及极地冰雪气候(E)。这5种气候再根据季节的差异和极端的降水量、极端的气温进一步划分，在原来的字母后面再加上字母分别表示。

1931年美国气候学家C.W.索恩思韦特提出的气候分类把世界分成5个植被-湿度带和6个植被-温度带。5个植被-湿度带是：潮湿的雨林、湿润的森林、次湿润的草地、半干旱草原，以及干旱荒漠。6个植被-温度带是：热带、中温带、微温带、泰加带、苔原带，以及冻原带。柯本分类的其他修改包括把世界分成低纬度、中纬度、高纬度气候，或者改成热带气候、副热带气候、气旋气候以及高原气候。

每一种气候分类都重视气温与有效降水量的关系。例如为了要把一个地区定为湿润，一个气温高的地区必须比一个气温低的地区的降水量大，因为前者的蒸发量更大。例如年平均雨量254毫米足以很好地维持凉的气候里的松柏类的森林，但只能维持热的气候下的荒漠灌木。

热带气候 位于低纬度，受热带气团和赤道气团的控制。它整年都热，没有冬天。热带多雨地区或者说热带雨林的气候，降水量大，通常年平均大于2 000毫米。湿度很高。差不多每天都有雷暴。每个月的平均气温接近27℃。植被是热带雨林或者常绿的阔叶树组成的茂密的雨林。排水不良的地区有红树沼泽。在树木覆盖比较稀疏、日光能到达地面的地方是茂密的称为热带植丛的林下灌草层。

热带多雨地区一般位于赤道低地，并沿着暴露于潮湿的东风信风的多山的热带海岸分布。南美洲的亚马孙盆地和非洲的刚果盆地是最大的连续的热带多雨气候地区。其他的热带多雨气候区是菲律宾和东印度、马达加斯加岛东海岸，以及中美洲迎风的海岸。有些热带多雨地区例如印度的西海岸、亚洲东南部，以及南美洲的北海岸，在中午的太阳离天顶最远的“冬天”里，有一个短的旱季。

在热带多雨地区向着极地这一边，在纬度5°到10°和15°到20°之间有一个潮湿-干燥的热带气候区，或者说热带稀树草原气候地区。它的降水量不如热带地区，有一个漫长的冬天的干季。结果植被是典型的高草和稀疏散布的树。最高的月平均气温通常是正在雨季以前，可以高达摄氏30多度。热带稀树草原气候的主要地区是在中美洲、南美洲、非洲、印度、东南亚，以及澳大利亚。

热带稀树草原向极地的一边与热带草原或者说半干旱热带气候相结合，越往极地方向走，干季越长，雨季越短。再往极地方向走，草原地区的气候与热带荒漠或者说热带干旱气候相结合，后者一般位于纬度15°到30°之间。草原平均年降雨量一般少于760毫米，荒漠则少于250毫米。夏天平均月气温30℃。热带荒漠的气温是世界上最高的，极端气温超出55℃。在干旱的热带里只有矮草和荒漠灌木能够存活。

主要的热带荒漠有非洲的撒哈拉荒漠和卡拉哈里荒漠、墨西哥北部和美国西南部的索诺拉荒漠，以及澳大利亚、亚洲西南部的阿拉伯、伊朗和巴基斯坦的荒漠。大陆西海岸的热带荒漠是凉的洋流和海洋副热带高压中心东边干风的影响造成的。这样的例子有西南非洲的纳米布荒漠、智利的阿塔卡马荒漠，以及沿着下加利福尼亚和摩洛哥海岸的那些荒漠。（见：**荒漠**）

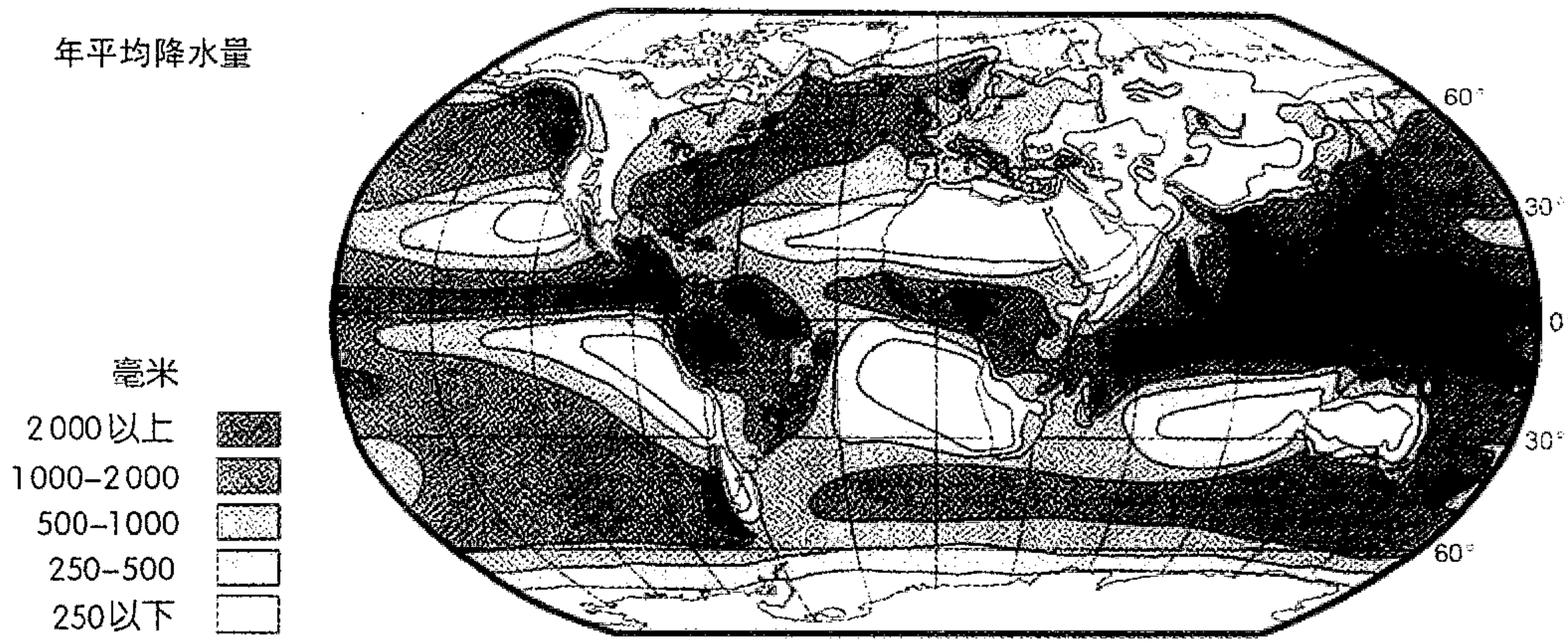
副热带气候 位于纬度20°到40°之间。副热带干旱气候位于干热带向极地一侧。它半干旱，像热带草原，但是要凉一些。气温的日较差和季较差都比较大。夏季气温可以高出43℃；冬季可以低到冰点以下。那些地中海干燥夏季副热带气候地区一般位于纬度30°到40°之间朝西的海岸。地中海型气候则存在于美国加利福尼亚南部和智利中部的海岸、欧洲南部和非洲北部的地中海沿岸，以及沿着非洲和澳大利亚的部分南部海岸。

地中海型气候的特征是干热的夏季，以及温和潮湿的冬季。平均年降水量从地中海气候型与热带干燥气候相结

合的近赤道一侧的不足380毫米到向极地一侧的890毫米到1 000毫米之间。

湿润的副热带气候一般位于各个大陆东侧纬度25°到35°之间。它主要是受位于各个副热带海洋高压中心西侧的海洋热带气团的影响。降水来自夏天的雷暴和冬天的气旋风暴,降水量中等而且是一年到头都有雨。年平均降水量760毫米到1 500毫米,足以供森林生长。冬天短,而且温和,但在极地空气偶然人侵的时候,气温可降到冰点以下。夏季的月份,平均气温约在27℃左右。湿润的副热带气候位于美国东南部、中国东南部、日本南部和巴西南部-乌拉圭-阿根廷东北部地区,以及沿非洲和澳大利亚东南海岸。

气旋气候 是受冷的极地气团和温暖的热带气团之间的冲突以及锋面气旋控制的。它们位于纬度35°到70°之间的宽阔地带。气旋气候极大程度地局限于北半球。北半球的大片陆地远大于南半球而且更远地伸入中纬度和高纬度地区。



湿润的大陆性气旋气候见于美国东北部和中北部、加拿大东南部、中国东北部、日本北部、阿塞拜疆、亚美尼亚、格鲁吉亚、中亚和俄罗斯的一些部分,以及欧洲的东部和中部。往赤道方面,湿润的大陆性气候与湿润的副热带气候相结合,夏天最长,最暖。往南北极方面,冬天最长,最冷。月平均温度,在北方,夏天在16℃左右,冬天在-18℃以下;在南方,夏天在21℃左右,冬天不到1℃。

降水来自雷暴和气旋风暴,全年都有分布,但最大降水量一般在夏季。年平均量在630毫米到1 500毫米之间变动。雪常见,尤其是北方地区。当地植被多样化,在干旱的边缘地区是高草,在南方是落叶林,在北方是松柏林。

副极地气旋气候,或者说泰加林气候位于湿润大陆气候区的北边,纬度50°到70°之间。它包括北美洲阿拉斯加和加拿大的大部分,以及欧亚大陆的斯堪的纳维亚的大部分、俄罗斯、波罗的海沿岸国家和白俄罗斯,还有中国东北部。这里是冷的大陆极地气团的生成地区。

夏天短,凉,一年里头只有3个月的平均气温超过10℃。夏季里虽然白天气温可以到达摄氏二三十度,夜晚偶然还是有霜。冬天长,很冷,一月平均温度在-18℃以下。在西伯利亚东北部曾经有最低气温低于-68℃的报告。1月和7月平均温度的差大过55℃。这样的差别比世界别的任何地方都大。

降水量通常每年平均少于500毫米,大部分来自一年到头的气旋风暴,而最大的降水来自夏天的雨。冬天的雪在全部降水量中只占一小部分,但一年当中多数时间雪覆盖着地面。有大片地区是永远冻结的底土,或者说永冻土。副极地气候地区一般与一条宽阔的针叶林带相一致。后者通称北方森林,或者说泰加林。

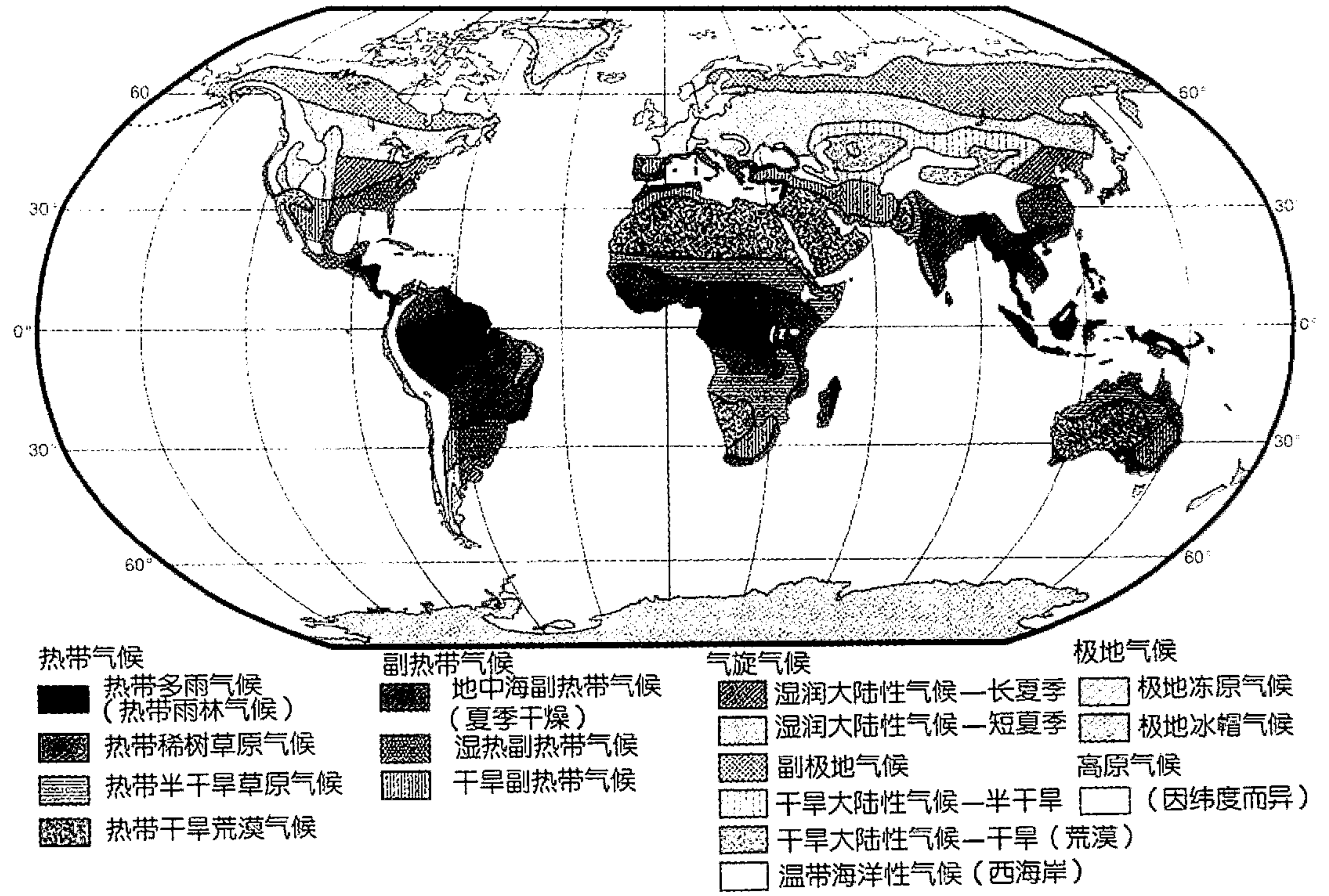
干燥大陆气旋气候位于纬度35°到50°之间的山的背风面或者内陆深部。干燥大陆性气候的3个主要地区是:北美洲的大平原和大盆地;亚洲的蒙古、中国西北部和中亚部分地区;以及南美洲的阿根廷的西北部和南部往赤道方向,它们和干燥的热带气候相结合。两者的不同主要在于前者的冬季气温较低。夏天热,气温可以高达38℃以上。降水量低而多变,尤其是在干燥大陆性气候地区的荒漠中心地带更是如此。在中纬度的荒漠,例如加利福尼亚的死谷、亚洲的塔克拉玛干荒漠、戈壁以及咸海周围,平均降水量不足120毫米。围绕这些荒漠的半干旱草原年平均降水量可以高达500毫米或者更多些。(见:**荒漠**)

温和的海洋性气旋气候,或者说西海岸海洋性气旋气候,位于纬度40°到60°之间大陆西海岸。在赤道一侧,它与地中海干燥副热带气候相结合。西海岸海洋性气旋气候地区存在于北美洲太平洋沿岸,从阿拉斯加州东南部一直到加利福尼亚州北部;南美洲太平洋沿岸智利南部;欧洲西北部,从挪威和冰岛直到葡萄牙;以及新西兰和澳大利亚的东南部。

盛行西风从海洋高压中心吹向陆地,因此气温比较温和。冬天是温暖的,1月的平均气温约为5℃。夏天也不太热,7月平均气温约16℃。气温在冬天很少低于-6℃,在夏天很少高于32℃。年平均降水量在低洼地为500毫米-760毫米,在赤道边缘迎风的山坡则可超出2 540毫米。降

水是整年都有的，但在冬季气旋风暴活动增强的时候最大。冬季常常有雾，在降水量大的地方常有茂密的针叶林。

世界气候



极地气候 极地冻原气候位于副极地气候向着极地的一边，主要部分在超过北美洲和欧亚大陆北缘的北极圈。冻原的冬天和副极地一样，时间长，很冷，气温常常低到-57℃。没有真正的夏季，气温很少超过15℃，通常只有二、三个月的月平均气温在冰点以上。年降水量大部分来自气旋夏季风暴，通常平均不超过380毫米。这些地区没有树，地面下是永冻土。

在极地冰帽气候地区，一年内没有一个月是月平均气温在冰点以上的。差不多南极洲的全部，以及格陵兰除海岸外的全部属于这种最冷的气候。这些地区覆盖着永久性的雪和冰，有些是裸露的岩石，没有植被。内陆地区冬天气温最低，达到世界最冷记录，低地-73℃。即使在"夏季"的那些个月里，气温最高才上升到刚刚超过冰点，但却常常降低至远在冰点以下。年平均降水量（绝大部分是雪）往往不超过130毫米。

高原气候 在同一个纬度下，高原一般比低地凉。高原增温和降温都更快些，因此白天黑夜之间气温有很大差别。高原一般比较湿润，但低一些的迎风山坡的降水量却比高一些的背风的山坡大得多。在很高的高原，就像极地冰帽一样，积雪是永久性的。雪线，或者说夏日冰雪融化的上限，在热带地区最高，在高纬度地区最低。伸展最广的高原地区是北美洲的落基山脉、南美洲的安第斯山脉，以及亚洲的喜马拉雅山脉-西藏高原地区。

气候和自然环境

在自然景观的一切方面，没有一个比自然植被受气候的影响更大。每种植物只存活在阳光、气温、降水、湿度、土壤水分和风的一定的范围之内。这些要素的变化直接反映在地球植被的变化上。气候和植被之间的一致性是如此地明显，以至气候的类型与一个地区占优势的自然植被是一致的，而且就以植被的名字命名气候的类型。

一个地区的土壤也在一定程度上受气候的影响。在温暖潮湿的气候里，土壤的风化和形成比在凉的干燥的气候里快。结果是潮湿的热带的土壤一般比荒漠或者极地森林地区的土壤厚。不过干燥气候下的土壤趋向于比潮湿气候下的土壤更肥沃。这主要是因为干燥气候地区的淋洗作用较小，或者说由于水的向下的渗滤，从土壤流失的植物营养物质比较少的缘故。土壤的组成也受气候的影响。气候决

定植被的类型，而这些植被最终都会分解成为土壤的一部分。这就是为什么草原的土壤比森林的土壤肥沃的缘故。

气候的不同对地球的地貌起着显著的作用。在湿润地区，水是主要的侵蚀力，地貌趋向于圆形轮廓。在干燥的情况下形成的地貌却很可能是锯齿状的，角形的。这部分地是因为在干燥的情况下风蚀起着主要的作用。干燥地区流水侵蚀的次数少又来得突然和湍急，不像有植被覆盖的地方能够减慢水的径流的速度。

气候和人

气候作为自然环境的一个部分，对人类的活动有巨大的影响。经济上最重要的是气候对农业的影响。各种气候因素例如生长季节的长度、全部降水量和降水量在各个季节的分布，以及气温的日较差和季较差，它们限制着可以栽培的作物和可以养殖的牲畜的种类。

从理论上说来，如果人的时间和金钱的投资是无限的，任何作物、任何动物可以在任何地方种植和养育。人们在干燥的气候下利用灌溉，在潮湿的气候下利用排水，在寒冷的气候下利用温室，确实已经减少了甚至克服了气候的限制，也培育了能够在不利气候条件下茁壮成长的新的动植物品种。虽然如此，饲养牲畜仍然在很大的程度上局限于饲料作物可以有利地生长的地区。露天放牧对气候尤其敏感，需要相对地比较温和的气温和充分的水供应。

气候情况也影响运输。在经常有风暴和反复出现雾的地区，运输活动经常延缓或者受阻。水上运输在许多地区因为冬天的冰冻而完全停止。陆地运输可能因为大雪而中断。空中旅行尤其受风暴气候情况的影响。虽然如此，由于技术的进步，例如更加有力的破冰设备以及改善了的空中导航，已经使运输越来越摆脱了对有利天气的依赖。

世界人口大量集中于湿润的中纬度和副热带地区，这些地方农业的发展受不利气候条件的限制最小。气候极其干燥、极其潮湿或者极其寒冷的地区，人口往往稀少。不过，随着工业化和城市化程度的增高以及诸如冷冻、冷藏、空调和暖气这些技术的发展，人类的居住地日益超出了所谓有利的气候的局限。

气候变化

气候在数以百万年计的岁月里发生的变化是非常巨大的。从岩石和化石得到的证据说明地球表面的温度在过去的 2 亿年里曾经普遍下降，到距今 200 万年到 1 万年的更新世的冰期达到最低点。淤泥的和泥的沉积以及树木的年轮则显示了近期的变化。这些变化包括从 18 世纪早期开始的，以山地冰川和极地冰盖的总的退却为标志的逐渐增暖的趋势。(见：**冰期**)

有各种理论企图解释气候的变化。一种理论说在火山强烈的活动期里抛进大气的大量尘埃减少了到达地球的太阳辐射的量。又一种理论说，从火山和植物释放的二氧化碳、水汽和臭氧吸收了许多太阳的热，因此提高了平均温度。由于燃烧矿物燃料的数量不断增加，进入大气的二氧化碳随之增加，这就会使全球大气和海洋变暖，造成气候的巨大的变化。

地理学的理论认为气候的变化与地面和水面的分布的变化以及陆地平均高度的变化有关。例如根据大陆漂移理论，表明比较多的大片陆地的纬度位置曾经转移。天文学理论探讨了地轴倾斜、两极位置的转移，以及地球太阳之间距离的变动等可能的改变。(参见：**大气**；**云**；**大陆**；**温室效应**；**降雨**；**季节**；**风暴**；**天气**；**风**)

撰文：Melvin E. Kazeck

天气 WEATHER

天气和每个人都有关系，它对人的差不多一切活动都有若干影响。它是在大气里发生的。大气是种气体流体，它完整地包裹着地球。天气是覆盖在地球表面任何地方的大气的一天一天的、时时刻刻的状态。气候则是长时间里的平均天气。组成天气的基本天气状况包括降水、湿度、气温、气压、云和风。

空气是永远运动着的。大气与地球的陆地和海洋表面之间也在不断地交换着热和水分。这种不停的变化是可以科学地进行分析的。气象学就是观察天气、预报天气的科学。

大气和大气环流

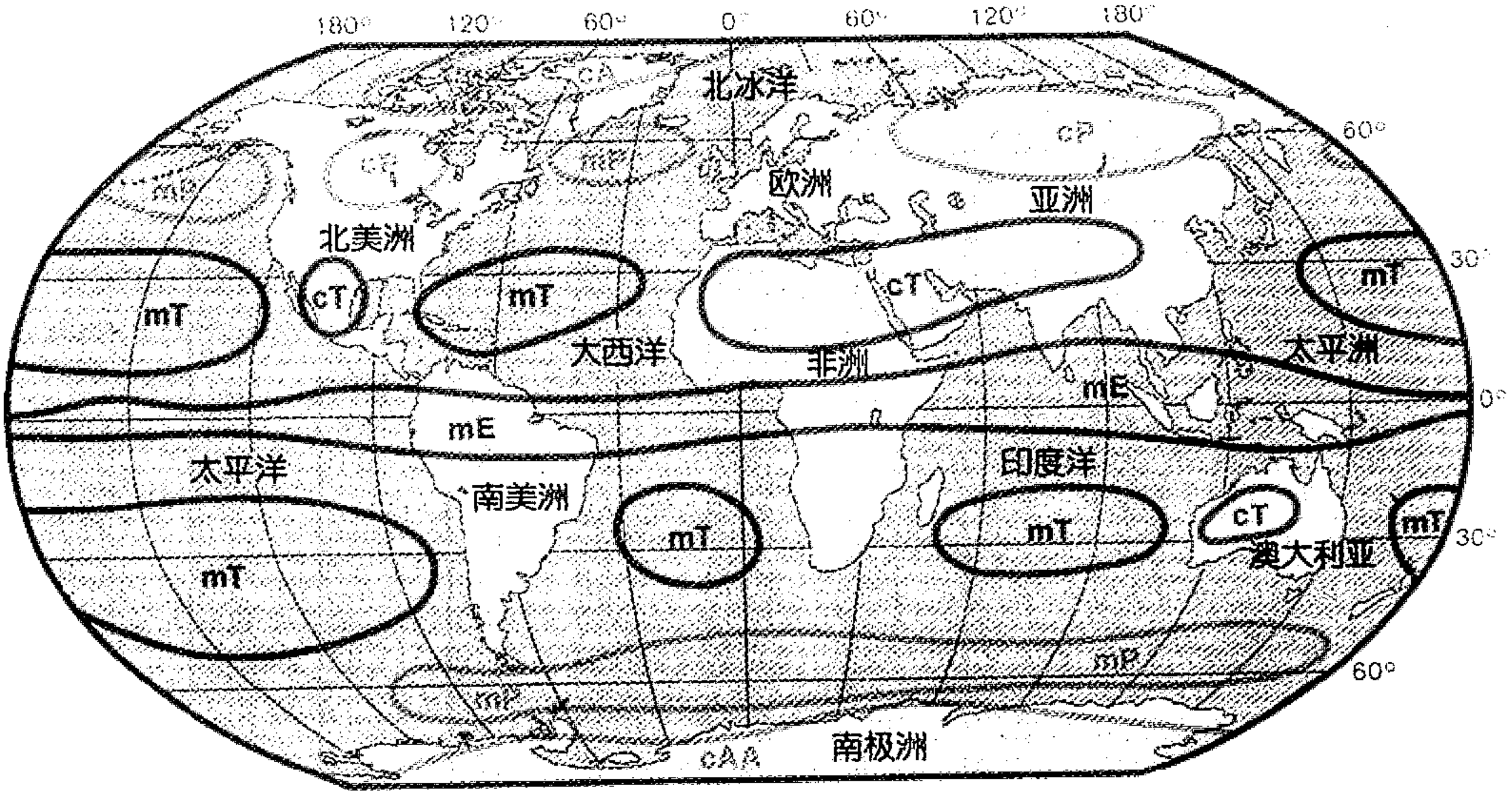
空气被它自己的重量压缩，所以大气的差不多一半积压在底部 5.5 千米的范围里。这个大气层的底层称为对流层。差不多全世界的天气都发生在这一层。在这层的湍流和风暴之上的是平静的平流层。平流层只有很少的水分和很少的云。(参见：**大气**；**地球**)

大气运动的多种多样是地球上空气大规模运动的形式的基础。这些行星风或者说大气环流的主要原因是赤道的空气接受的太阳热远远高于南北两极的空气接受的太阳热。赤道上空的热空气上升并向两极流动，流过北半球和南半球。在两极地区，空气冷却、下沉，不时地向赤道回流。

空气向上的运动形成一个跨赤道的低压带。在大约北纬 30°和南纬 30°的地方各有一个来自赤道的上层空气流下沉地表而形成的高压带。风从每一个副热带高压带表面向外吹，吹向赤道，吹向两极。它们受地球自转的影响而发生偏移，在北半球偏右，在南半球偏左。这就造成一个热带东风带和两个中纬度西风带，南北半球一边一个。

南北极表面的风也像热带东风(或者说信风)那样往西偏移。南北极东风在南北半球大约纬度 60°的地方与西风相遇，形成了绕地球的低压带。

地球风和压力带的分布随着一年里头不同的时间而多少有所不同。它们在北半球夏天的时候向北移，在南半球夏天的时候向南移。压力带的连续性和风的盛行的方向也因为地球陆地和水的表面与大气交换热和水分的速度不同而有很大的变化。(参见：**风**)



在主要的世界气团当中，北冰洋气团(cA)、南极大陆气团(cAA)、极地气团(cP)是寒冷而且干燥的气团。热带大陆气团(cT)热而干燥。极地海洋气团(mP)比较寒冷潮湿。热带海洋气团(mT)和赤道海洋气团(mE)热而潮湿。

气团和锋

气团是覆盖地球表面一个大的区域上面的气温和湿度相当均匀的空气。气团有 4 个主要的类型——北极气团(A)或南极气团(AA)、极地气团(P)、热带气团(T)，以及赤道气团(E)。它们按发源地带分为海洋气团(m)，或者大陆气团(c)。一般说来，海洋气团相对地比较潮湿，气温不高不低。大陆气团相对地比较干燥，不是很热，就是很冷。

每年冬天，在加拿大北部和西伯利亚上空积累起巨大的极寒冷的极地大陆气团(cP)或者北极大陆气团(cA)。气温可能降低到-62℃。北极气团随着冬天的风暴向南吹的时候，发生寒潮。比较温暖些的极地海洋气团(mP)在北太平洋和北大西洋上空聚积。热带海洋气团(mT)从墨西哥湾加勒比海，以及热带大西洋进入美国。热带海洋空气具有极大的持有水分的容量，造成大雨。

锋是不同气团之间急剧的过渡带。冷锋是冷气团的前缘。它带来气温的突然下降和气压的急剧增高。它在夏天常常伴有雷暴，冬天常常伴有暴风雪。一个前进的暖气团常常超越前面的冷气团的后部。沿着地面后退的冷气团的尾缘就是暖锋。云体厚密而且低垂的云层之后往往是广泛分布的持久的降雨。

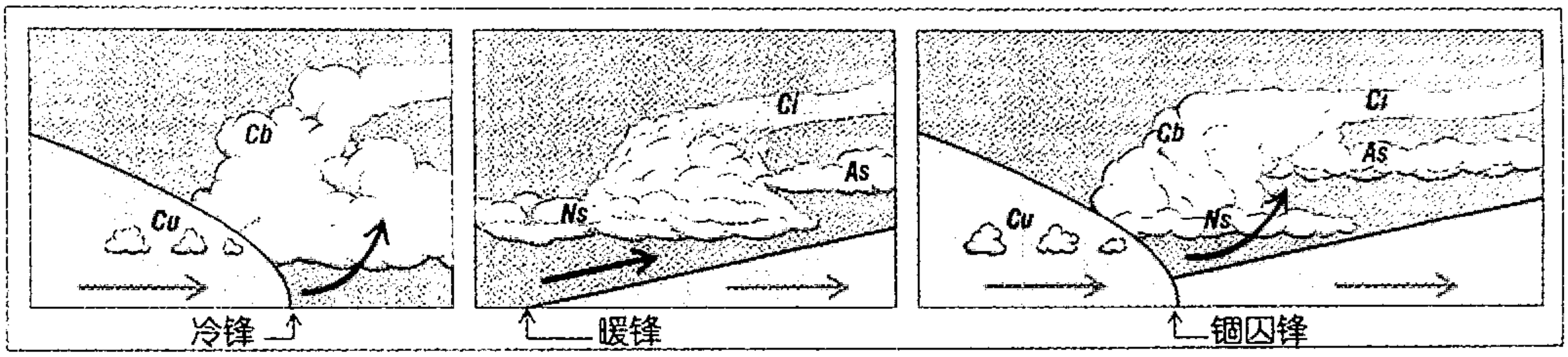
当一个冷气团和一个暖气团的交界面没有可以察觉的向任何方向的移动的时候，就形成了静止锋。在静止锋的冷的一侧可以维持许多日子的多云和降雨的状态。当一个冷锋超过了地面上的一个暖锋，暖空气被高高抬升的时候，就形成了锢囚锋。

作为向东移动的低压中心的一部分而形成的锋称为气旋波或者锋面气旋。气旋波是在沿着分开极地气团和热带气团的极锋的西风带形成的。当高空气流的一个低压区接近地面的一个静止锋的时候，便发展成为气旋波。这就降低了极锋的气压，因此转而形成了一个冷锋跟随一个暖锋的一个典型的水平波。当冷锋超越运动较慢的暖锋时，它在低压区的向赤道一侧旋转。当一个冷锋通过北半球的一个地区的时候，风向一般从南和西南转向西北，当它通过南半球一个地区的时候，风向一般从北和西北转向西南。

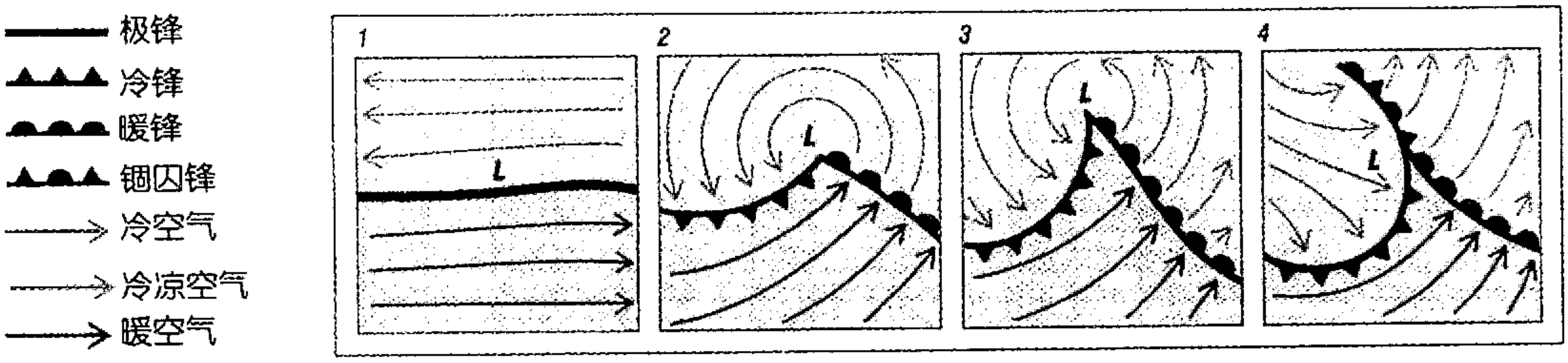
与气旋波有关的风暴天气可能影响 260 万平方千米以上的广大地区。它往往在两天以内达到最大的强度。北美洲和欧亚大陆的风暴通常被东北向的高空气流驱赶各自相应地向冰岛低压区或阿留申低压区伸展，这是北半球高纬度地区低压带的半常定特征。大气环流的整个区域称为一个气旋。在北半球，环流是逆时针方向的；在南半球，环流是顺时针方向的。

几个气旋波往往先后一起发生。当一个气旋成熟和移动的时候，一个新的气旋就会沿着后随的冷锋形成。如果这是发生在靠近一个有热和水分充分供应的地方，例如美国的大西洋沿岸，那么这第二个气旋在突然性、风速，以及降水量等方面有可能超过第一个气旋。

太平洋、墨西哥湾和大西洋是美国气旋水分的主要来源。从这些水体进入美国的低气压，或者西部内地形成的低压，可能产生强风和大雨。随着强大的冬季高压发生的这种风暴可能造成严寒和暴风雪。



锋的剖面图显示一个前进的冷锋有一个坡度很大的圆形的锋面，它的特征是积云(Cu)和积雨云(Cb)。暖锋的坡度小，是一个直线型的缓坡，它的特征是高卷云(Ci)和中低的层云(As,Ns)。锢囚锋有一个几种云的结合体。



(1) 气旋波形成的初始阶段，在冷暖气团之间的极锋的低压中心(L)形成一个向东流动的小波或者水平波。(2)冷锋和暖锋形成，围着低压中心转动。(3) 冷暖风绕着低压中心旋转。(4) 冷锋超越暖锋，形成一个锢囚锋。

反气旋是气旋的反面。它是一个高(气)压(高压中心)。高压常常与干燥、寒冷的天气相关联。在北半球风沿着高压以顺时针方向向外旋转，在南半球则是逆时针方向。高压通常起源于高纬度地区，在北半球，它取东南走势。极度的冬寒常常发生在高压地区，特别是在半定常西伯利亚高压地区。北美洲的高压携带着低于 0℃ 的空气，南下直至墨西哥湾，进入佛罗里达。

夏季，运动缓慢的海洋反气旋可能影响美国中部和东部内地地区，产生无云的天空，热波，有时产生干旱。秋季，停滞的大陆反气旋可能带来持续一段时间的类似夏天的天气(印第安夏季)。风力不大，可能引起污染物质的聚积。

天气要素

天气的主要状况，或者说天气要素，指的是风、气压、气温、湿度、云和降水。

风是空气平行于地球表面的运动。风沿着所谓压力梯度从高压地区吹向低压地区。不过在离地面 600 米或 900 米以上的地方，风向一般是与大气环流的盛行的压力梯度成直角的。这种风是地转风。在北半球，若背风而立，低压在左边，高压在右边。在南半球刚好反过来。在高度为 8 600米到 10 700 米的地方，这些沿着一条狭窄的急流区吹的西风，风速可能达到每小时 320 千米。在天气预报方面风向是很重要的。例如在北半球，西北风通常指示冷和干燥的天气；东风表示多云和降水；南风说明将是温暖和潮湿的天气。(见:风)

气压本身在天气预报上没有什么重要的意义，重要的是气压的改变。例如偏离了正常的日变化，或者中午前后常见的气压的突然降低之类。气压降低一般指示风暴即将来临；气压升高指示好天气将要出现或者好天气的持续。

气温的变化对天气预报说来也是重要的。在北半球，温度的升高是和南风相联系的，气温的下降是和北风相联系的。在南半球情况正好相反。天上没有云，夜晚气温急剧下降。城市里，因为人为来源的热量的集中，夜里的气温可以比乡村高出 6℃。

空气里的水汽造成了云、雾、雨、雪。空气里水分的量称为湿度。暖的空气能比冷的空气保持更多的水分。在一定气温下空气能保持的最多的水分的量是它的饱和值。相对湿度是在一个给定的气温下空气中确实含有的水分的量与空气在这个气温下能够保持的水分的最大的量的比例。相对湿度大小不等，可以小到沙漠上空的差不多零直到浓雾和雨天的百分之百。

云往往是天气即将变化的一个征兆。云层升高指示天放晴，而云的加厚和下沉预示着降水。水汽冷却到露点以下，凝结为可以看得见的小水滴或者冰晶。云的底部指示在这一层上升的空气达到露点。云的主要类型有高高的缥缈的卷云，成层的层云，大块的巨浪般的积云，以及雨云。术语 alto 表示“高”，nimbus 指“雨”，用来进一步表示云的类型。(见:云)

雾是接触地面的云。和云一样，它是潮湿的空气冷却

到露点以下的时候形成的。露是潮湿的空气接触例如像草这样的表面的时候形成的，这时候的草因为夜里的散热已经冷却到露点以下。在气温低到冰点以下的时候，形成的是霜而不是露。（见：雾）

降水和风暴的类型

温暖潮湿的空气冷却到露点的时候，如果存在作为凝结核的微尘或盐晶，就会发生凝结。当潮湿的空气由于暖气团和冷气团的碰撞或者由于沿着山坡向上的运动而被抬高的时候，它冷却凝结，结果造成广泛的降水。在雷暴中，上升气流把雨滴猛烈地抛向上空，不停地往上，直到它们太重了，升不上去了才落下来。冰雹的生长与雨滴的生长相似，它在落到地上来以前，交替地暴露于冰点以上和以下的温度里。冻雨就是冻结的雨。（参见：降雨）

如果空气被抬升，高高向上，在低于 0℃的云的冷冻层里，水分会凝结成冰晶。当冰晶侵入过冷的云，水汽就在那上面凝结，成为雪晶。飘浮的雪晶进入较低、较暖的空气后与其他雪晶结合成为雪花。突然的冷却，例如冷锋的进入造成小阵雪。如果一股极地空气的气流抬高一个暖气团，而当雪落下来时穿过的空气的平均温度在冰点以下时，就发生雪暴。当这两个气团被游荡的高压拦阻的时候便产生大的风暴。（参见：雪）

当湿热的空气被强大的上升气流带到冰冻层上进入积雨云的时候，便发生雷和闪电，同时伴随有一阵狂风和大雨，有时候还有冰雹，这就是雷暴。西印度群岛的飓风和太平洋的台风，带着骤雨，带着风速每小时 120 千米或者风速更大的这种强大的风暴，起源于暮夏早秋的热带海洋上空，当时洋面气温最高，从赤道向两极的热带空气走得最远。飞机深入飓风测量它的强度，测定它的路径。在美国，国家飓风警报中心发布报告和警报。

龙卷风有一个黑暗的、狭窄的、漏斗状的主干。它从一个黑暗的雷云伸下来以高达每小时 480 千米的速度旋转。龙卷风在北半球向东北方向移动，在南半球则向东南方向移动。龙卷风出现最多的季节是春天和初夏。那时，例如在美国，寒冷、干燥的空气流过落基山脉，越过了从墨西哥湾流来的湿热的空气。大气的湍流是下沉的冷空气和上升的热空气造成的。（见：风暴）

气象仪器

天气的状况是用标准的仪器测量的。表面风的风速通常用风杯风速计测量。风杯风速计由 3 或 4 个由风驱动的杯子组成。它们安置在一个垂直的轴上，这个轴转动的速率随着风速的不同而不同。风向是由风向标指示的。风向标是个指针，它随着风旋转，它安置在一个垂直的轴上，这个轴连接在方位刻度图上。在天气测量方面，风向常常是指风吹来的方向。

气压是用空盒气压表来测量的。气压表是一个有弹性的金属制真空盒子，它能随着压力的改变膨胀或收缩。连续的气压是用自动记录气压计记录的。它用一个气压表驱使一枝笔在一个转动的鼓上描画。气压也用水银气压表来测量。这是一根玻璃管，其中的水银柱的高度随着气压的变化而改变。

气温是用温度表测量的。这也是一根玻璃管，其中水银柱或者酒精柱的高度随着温度的改变而改变。连续的气温用自动记录温度计记录。这是一种特殊的温度表，由一个热敏金属线圈组成，和自动记录气压计一样，这个线圈推动一枝笔在一个转动的鼓上描画。

湿度的数据，包括相对湿度、气压和露点，是用湿度表获得的。最常用的湿度表是干湿球湿度表。它由一个干球湿度表和一个湿球湿度表组成。两个湿度表记录的湿度之间的差异是与空气中水分的量相关的。

云幕高度，或者说云层底部的高度，是用自动云幕仪来测量的，云幕仪用脉冲灯的光束和光电望远镜测云幕高度，白天黑夜都能测量。有时用别的方法例如用云幕灯和云幕气球来测量。这两种方法都是用三角测量法测量云层底部的高度。

降水量通常用雨量器测量。雨量器是一个收集雨水的开口的容器。1 毫米的雨水是指平均降有 1 毫米的水。雨量器是测量降水量的基本仪器。雷达常用来测量降雨或者降雪的强度。（见：降雨）

天空高层的气压、气温、温度和风的探测是由无线电探空仪进行的。它被气球带上 30 000 米的高空。无线电探空仪把数据传送给地面的记录器。高空风的风速和风向是用配备无线电方向探测器或者说无线电经纬仪的无线电探空仪追踪获得的。这样的观察称为无线电高空风观测。高空风的信息也来自目视追踪一个配备测量仪器的升高的气球。火箭用来取得高约 60 000 米处天空的数据。气球达不到这样的高度。

多普勒雷达用来连续测量高空的风、湿度和气温。多普勒图像记录运动的波源与观察点之间产生的波的频率的显著的改变。这种频率改变的现象称为多普勒效应。

天气预报的历史

在一切靠自己动手的时期，天气预报是建立在直接由人的感觉作出的当地的观察的基础上的。在 17 世纪出现完善的温度计和气压计以前，不可能准确地测量气温和气压这两项基本的天气要素。在 19 世纪发明电报以前，也不可能实现综合性天气预报。有了电报才有可能迅速收集和传播天气的观测资料。

美国最早的系统的天气观测资料可以追溯到 1738 年。1816 年德国科学家 H. 布兰德斯制作的天气图是世界上最早的天气图之一。1849 年，哥伦比亚特区华盛顿史密森研究所的 J. 亨利建立了为制作每天天气图所需的观测资料电报网。1869 年气象学家 C. 阿贝建立了又一个天气报告网。

美国政府的天气预报最初是 1870 年陆军信号部发布的。1891 年，陆军的民用天气预报活动转交给了农业部的美国气象局。1940 年，气象局转移到商业部，1965 年成为

环境科学事业局(ESSA)的组成部分。1970年起气象局成为国家海洋和大气局(NOAA)的一部分，并命名为国家气象局。

加拿大的民用的气象活动归环境部的大气环境局(AES)领导。它最初建立于1871年，原名加拿大气象局，是1971年命名为大气环境局的。联合国的世界气象组织(WMO)建立于1951年，它协调全世界天气和气候信息的交流。它的前身是1873年建立的国际气象组织。

天气预报的方法

用天气图预报天气是现在的天气预报的最普通的方法之一。它是建立在给定时间的天气全貌的总结或者说概要的基础上的。天气系统的发展和运动显示在一系列连续的天气图上，然后用这些天气系统来说明未来的状况。应用于天气图上的天气观测资料来自世界各地几千个气象站一天4次格林尼治平均时(GMT)的子夜、上午6时、中午和下午6时的报告。最普通的天气图是地面天气图。对不同层次的高空大气也做了高空天气图。

另外有一种天气预报的方法称为统计天气预报。它使用的是以检验大气过去的行为为基础的数学方程式。还有一种天气预报是数值天气预报，它使用的是以描述大气行为的物理学定律为基础的数学模型。预报远至5天的天气，最常用的方法是数值预报的方法；预报更长时期的天气，统计的方法比较准确。预报90天以外的天气，可以用气候预报的方法，或者用从前的天气记录的平均值。

美国使用的基本的天气预报是哥伦比亚特区华盛顿附近马里兰州休特兰国家气象中心(NMC)的电子计算机制作的。在20世纪60年代以前，天气图都是手工制作的，是各地的气象站分析的。未来的风暴、锋，以及其他天气现象的位置都是根据连续的天气图人工测算出来的天气系统的运动。

计算机绘制的天气图现在预报从地面往上直至16 000米高空许多大气层次的风、气温、湿度的状况。然后用统计的方法绘制可能发生的最高气温、最低气温，以及降水的天气图。这种来自国家气象中心的全国范围的天气预报，再由地方的天气预报机构加以修正，说明地方天气特征。

在分析天气的时候，在图上画一条连结相等气压的各个点的等压线。这样的图说明等压面的高度，也绘制了地面上空的其他的一组组的等值线。当初用人工绘制这样的图是一件非常费时间的工作，现在分析工作作为数值预报的一部分，大都在计算机上自动完成。计算机绘制的图表明全部等压线以及最高值和最低值的中心。这些图作为纸质的复制本发布，以便进一步研究和人工修正，或者作为缩微照片归档，供人检索，或者作为信号通过传真网传给所有的接收站以便继续制图。

数值天气预报本质上是一个流体动力学的问题。有了地球的大气、水体，以及陆地表面的初始状态的完整的精确的数据，加上对描述热和水分传输的物理学定律的完全的了解，从理论上说，将可获得近似完善的数值天气预报。不过这样的信息不是完全能得到的。

在20世纪40年代后期高速计算机得到发展以前，数值天气预报是完全不现实的。数值数学模型用了六个基本方程式。这六个方程式分别表示三维运动和热、水分以及质量的守恒。它们用计算机解答，获得在有规则地分隔开的几千个网格点上的瞬间的变动情况。在国家气象中心，在预报所需的时间范围内，计算机以短短的20秒钟的间隔连续地反复计算这些变动。这样的时间上的持续推进是数值预报的本质。在大气的几个层次上进行了计算。整个数值预报的过程长达48小时，每12小时重复一次。一天一次的对5天后的天气预报的计算，用来作为准备每天天气前景的基础。

天气数据的收集和发布

美国的气象台每小时为航空的用途播送一次编码的天气资料，每6小时播送一次普通天气预报，每天播送一次气候记录。地面天气资料包括降水、气温、气压、气压变化、风向和风速、湿度、露点、云的类型、云遮蔽天空的程度、能见度、云幕高度，以及当时的天气。除此以外，最高最低温度和降水量是几千个小的气象站的志愿观察人员测量的。其他气象站网，是管洪水、火灾、果树霜冻以及龙卷风的警报的，有的是报告北美洲五大湖的天气状况的(与加拿大合作)，有的是促进农业计划实施的。

美国专业气象人员通过电话、广播、电视，以及电传打字机等与公众直接联系。记录下来的电话天气预报(在许多大城市里可以打电话给WE6－1212收听)可以在每个城市里同时为1 000人服务。在有些城市里，甚高频调频无线电广播连续不停地广播天气。座落在佐治亚州的有线天气预报节目的天气频道面对4 600万美国的家庭播送地方、地区、全国和经过选择的其他国家的天气情况。

一个国际的电传打字机和传真的网发布天气的信息。来自全球各地的数字编码的资料由接收站传递给例如美国的国家气象中心这样的中央机构处理。

天气监视卫星是从1960年的电视及红外线观察卫星(泰罗斯，Tiros)开始的。有了它就有可能从头开始探测多个天气系统。从此不再会没有发警报就刮起比龙卷风还大的破坏性风暴。1966年发射的多对的极轨气象卫星是美国第一个综合应用的业务卫星体系。

美国国家航空和航天局(NASA)的应用技术卫星(ATS)是在1966年发射的。这些所谓同步卫星高达35 900千米，因为它们绕地球运动的速度与下面的地球的自转一致，所以看起来它们好像挂在天空中不动似的。它们在白天里每26分钟提供一张差不多覆盖地球一半的图像。小到宽约3千米的形象也能辨认出来。图像清楚地显示飓风甚至一块块的云。

天气术语

气团 在它起源的地区气温和湿度都一致的巨大气团。
反气旋 以向外旋转的风为其特征的大面积的高气压。它是一个高压区。
气压 大气的重量加在单位面积表面上的压力。
气候 一个地区的长期的平均天气。
气旋 以向内旋转的风为其特征的大面积的低气压。它是一个低压区。
锋 两个不同气团之间的界面。
高压区 高气压地区的中心
湿度 空气里水汽的量。
等压线 通过相等气压各点的连线。
低压区 低气压地区的中心。
极锋 极地气团与热带气团之间的界面，气旋扰动正是沿着极锋形成的。
天气图 描绘给定时刻一个区域的天气的图。
气旋波 一场风暴，或者说是沿着锋移动的低压中心。

天气谚语

鱼鳞天和马尾云，高高的船挂低低的帆。 鱼鳞天（卷积云）和马尾云（卷云）指示风暴天气的来到。
情愿二月里看见狼，也不愿看见农夫轻装。 暖和的天气来得早（人们只穿衬衣），过早地抽芽生长的作物会被暂时回归的寒冷天气杀死。
早晨有虹，行人小心；夜晚有虹，行人高兴。 因为中纬度地区的风暴常常来自西边，早晨看见的西边的虹说明空气潮湿，风暴天气即将来临。晚上见于东边的虹说明风暴天气已经过去。
云越高，天越好。 高云指示好天气的干燥的空气和高气压。
绳索扭弯，不能割草晒干。 绳索纤维扭弯指示湿度增高，天将下雨。

世界的极端天气

最高气温 57.8℃（利比亚的阿齐济亚，1922年9月13日）。
最高年平均气温 34.4℃（埃塞俄比亚的达洛尔）。
最低气温 －89.2℃（南极洲的东方站，1983年7月21日）。
最低年平均气温 －56.7℃（南极洲的高原站）。
最大12个月降雨量 2 646.7厘米（印度的乞拉朋齐，1860年8月至1861年7月）。
最小年平均降水量 0.08厘米（智利的阿里卡）。
最高海平面气压 81.31厘米（俄罗斯的阿加塔，1968年12月31日）。
最低海平面气压 65.8厘米（菲律宾海爱达荷台风，1958年9月24日）。

美国国家航空和航天局1969年发射的大型气象试验卫星“雨云3号”装备着称为卫星红外分光计（SIRS）的远距离传感器。它测量的红外辐射、铅直温度探测可以在大的领域里进行计算。“雨云3号”上的高分辨率红外辐射仪（HRIR）用来分辨暖的和冷的洋流，云和雪，以及冰和水。在没有云的地方，可以确定冰盖和积雪的位置和范围。这对预报洪水，以及在数值天气预报里计算热的辐射都有用处。

20世纪70年代美国发射了一个称为“改良型电视及红外线观察业务卫星（即改良型泰罗斯业务卫星，亦即艾托斯，ITOS）”的极轨卫星系统，以及一个与地球相对位置保持固定不变的地球静止环境业务卫星（戈斯，GOES）。艾托斯带着一个铅直温度廓线辐射仪，而戈斯根据云的运动提供风的数据。在20世纪70年代后期和80年代早期，这些系统都被国家海洋和大气局（诺阿，NOAA）的极轨卫星系列（6—10）和戈斯的系列（2—6）所代替。诺阿的系列从6开始是接着艾托斯编号的。

极轨卫星仍然继续为数值天气模型提供数据。它们带着先进的仪器探测气温，带着微波管以便在云区获得信息。新的卫星还测量地球对太阳辐射的吸收和反射，以及大气里臭氧的量。

戈斯-5（GOES-5）监视东太平洋和美国西部，而戈斯-6（GOES-6）监视西大西洋和美国东部。1984年7月戈斯-5停止工作，戈斯-6代替它在飓风的季节覆盖东部区域，在冬天风暴季节覆盖西部区域。1987年2月发射了又一个通讯卫星代替不起作用了的戈斯-5。这个新的卫星称为东戈斯，它报告大西洋和墨西哥湾地区的天气。戈斯-6重新命名，改称西戈斯，监视东太平洋。西戈斯于1989年失效，东戈斯向较西方向移动以补偿西戈斯。戈斯-7于1991年底发射，是当时惟一起作用的戈斯卫星。整个戈斯系统日日夜夜提供接近连续的云图和全球圆盘图。

艾托斯和戈斯系统是美国对世界天气监视网以及全球大气研究计划（GARP）作出的贡献。这个研究计划通过计算机对计算机的高速通路，将各个国际气象中心连接起来，改进了全球天气资料的收集和处理。

对于连续地探测和追踪远处直至400千米外的飓风、雷暴、龙卷风以及其他严重的风暴，雷达是最好的工具之一。全国天气的雷达数据归总在密苏里州的堪萨斯城制作并用传真网分发。美国气象局的新的气象雷达，1988气象监视多普勒雷达（WSR-88D，或NEXRAD）在完成之后将可以覆盖137个雷达站，判断与龙卷风伴生的低空风的切变。

长期天气预报

数值天气预报，例如用计算机分析和建立大气模式，是天气预报最准确的方法之一。但是不管用什么方法，预报的日期越长，逐日预报的可靠性就越低。

预报错误随着时间而增加，是由于许多地区大气初始状态的测量不可靠；数据点分隔得太远；对于大气为什么这样变动的理解不深。这样的错误可以造成计算机计算的预报中的错误。随着计算的进行，这种错误越来越大，终于使数值预报不起作用。持续的或者系统的错误是用人工改正

减少的。大气模式的一个典型的错误是天气系统的运动往往比预报的快。

在提供公众天气预报的时候，是考虑了随着预报的时间的延长而增加的不确定性的。例如随着时间的范围增长，预报气温的幅度也增加了，而降水量的预报通常是可能性的百分数。

预报连续的天气要素，例如气温，可以比预报不连续的天气要素，例如降水量，准确得多。预报平稳的高层大气比预报地面的情况准确得多。超过5天，就不可能准确地预报逐日的天气，不过可以在一定范围内预报平均天气偏离正常天气的情况。长期预报不像5天以内的天气预报，它面对的问题是还没有发生的天气系统的全部效应，但是对于大气环流未来的演变还是可以作出有用的推论的。

把大气逐日连续的图像加以平均，这就抹平了、滤掉了大气一时的扰动，显示了宽阔的在高低纬度之间曲折前进的西风流。任何时候，这些长波气流沿着各自的半球形成3－5个长波。它们缓慢移动，有的时候长时期地静止不动。一个个的低压和高压受这些长波引导，沿着所选择的轨道前进。这些长波的位置和大小决定长期平均天气的失常，例如寒流、暖流和干旱。

按月份预报大尺度环流曲流未来的位置是通过考虑它们如何演变，通过计算正常季节变化和不正常的海洋变暖与变凉的效应来估计的。也利用了这个月开头几天的数值预报。得出的环流型式是以利用统计方法和气候记录得到的预期的气温和降水的异常加以解释的。

30天以上的天气预报主要用的是历史和统计的方法。利用历史上类似的天气，是企图找到天气类型与现在情况密切对应的过去的一段时期。得到的长期预报与那段时期确实发生的天气完全相同。曾经企图找寻一个给定的天气情况与一个或者多个现象之间的统计上的相互关系，有的时候这些现象之间甚至并没有已经知道的物理学关系。这样的工作也得到了成功。例如已经发现印第安季风在统计学上是与南美洲的气压相关连的。

人工影响天气

小规模地控制和改变天气的努力，例如熏烟防止果园霜冻，利用的是相对地容易处理的技术。改变天气的大的突破发生于1946年。当时发现用干冰催化过冷云可以降水。用碘化银烟尘代替干冰得到同样的效果。这样的人工降水的基础是人为地为空气中的水汽提供凝结和冰冻的核。多数人工降水是在飞机上进行的。其他的工具包括空中的装有冲压式喷气发动机的飞行器、火箭和高射炮以及地面发生器。催化主要是用来增加降水，与干旱作斗争。有的催化是阻止云的形成从而消除降水。这对防止洪水是有价值的。

催化的实验目的是为了驱散机场上空的雾，减少危害农作物的冰雹的形成，抑制闪电，防止森林火灾，以及减弱飓风的强度。催化也可以用来重新分配降水量和减少过大的雪量。因为天气存在着巨大的突然的自然的改变，所以人为干预的效果差不多是不可能测量的。例如目的是为了增加雨量，但是很难确定如果不是人工降雨会下多大的雨。

20世纪80年代以前，在控制天气方面成功的例子几乎完全限于增加降水量和驱散雾，有意识地改变天气只是理论而已。20世纪80年代的研究强调小规模天气系统的数值模拟和云物理的研究。以足够的精确度模拟这些系统，研究人员就有可能确定为了造成所需要的天气变化需要采取什么样的行动。

人们不经意造成的天气改变是又一个广泛引起兴趣的领域。这包括由于土地利用的改变而造成的天气和气候改变的研究。建筑或者城市的扩展，以及农用土地用于工业可以带来天气的变化。至于土地利用的这种变化会不会造成显著的气候的变化，现在还不知道。

撰文：James F. O'Connor

温室效应 GREENHOUSE EFFECT

阳光透过温室的玻璃窗进入室内。它使温室里的物品温暖。然后这些物品释放出热。但是温室的玻璃却不让热透过它散到室外去。如果这个温室不通风，所有的热量都紧闭在室内，室温就会升高。一辆汽车关着窗子在太阳底下晒着，车子里面会变热，那也是温室效应。

地球和地球大气也像是一个巨大的温室。大气就像是温室的玻璃窗，短波和可见的太阳辐射差不多是完全可以透过的。地球吸收的部分能量以长波红外辐射向大气。但是长波辐射并不能完全透过大气，因为大气含有二氧化碳和水汽，它们大量吸收长波辐射，然后部分地再将它们辐射回到地球表面。这就是地球和地球大气变暖的原因。

因此，空气中二氧化碳和水汽的含量变化对于大气保持热量的多少有重大的影响。地球大气中所含有的二氧化碳的总量在20世纪以前几乎一直没有改变，但此后由于燃烧煤、燃料油、汽油和天然气之类的矿物燃料，向大气排放了大量二氧化碳。

燃烧矿物燃料的结果是大气中积聚的二氧化碳越来越多。有些科学家认为，随着温室效应的加剧，将导致地球上的长期气候的变化。根据一些预测，到世纪之交的时候，气候模式的重大改变将会显示出来。估计2100年以前全球平均温度将上升达5℃之多。像这样的全球温度的升高，将会产生新的模式和极端的干旱和降雨现象，从而严重破坏食物的生产。两极地区温度的增加可能比全球估计数高3倍，这将造成极地冰盖迅速融化，使沿海水位大幅度升高。

另外一些科学家认为其他一些因素可能降低二氧化碳增多的效应，防止温度上升。其中一个因素也是人类活动的产物，这就是大气中尘埃数量的增加。它可以加强大气对阳光的反射作用，使地球的温度有所降低。还有一个因素有助于将二氧化碳量增加的效应减到最小，这就是海洋对气体更大的吸收量。有些科学家认为在地球的温室效应中，水汽起的作用远比二氧化碳的作用要大得多，因此水汽数量的涨落是更加重要的。（参见：**大气；气候；光；辐射**）

云 CLOUD

虽然它们看起来似乎肯定是固体，实际上它只是水的微滴、冰晶或者两者的混合物的集合体。从古以来人们注意到天空里的云千姿百态，看到云不停地

形成和消失。诗人和艺术家用诗和画表现云的美丽。农民、水手,以及其他依靠天气维持生活和生计的人,却只是传统地凭借有关天气的经验预测风暴的到来。

云是空气里的水分经过自然加工形成的。空气不断地从蒸发补充水分。陆地和覆盖地球表面71%的水体(见:海洋)里的水分子,以气体或者水汽的形态逃逸进大气,这就是蒸发现象。反过来,从云形成的雨或雪降落地面又补充了因为蒸发而丧失的地表水,完成一个循环。空气保持水汽的量的多少取决于空气的温度。空气越冷,它保持的水分越少。

空气冷却到一定程度,部分水汽凝结成为可以看见的一团微滴。水汽的凝结成为微滴,有赖于大气中存在的微小的粒子。这种微小的粒子称为凝结核,它的最普遍的来源是海浪飞沫里的盐粒,以及火焰、燃烧的流星和火山喷出物里的粒子。清洁的海洋空气每立方厘米可能含有的粒子还不到100,而一个工业城市上空,空气里每立方厘米里的粒子可能超出100万,如果水汽凝结成为微滴的过程发生在地上,例如在草上或者花上,这就是露。如果发生在靠近地面的地方,这就是雾或者霭(轻雾)。如果发生在天空,这就是云。(见:雾)

上升的空气逐渐变冷,所以当湿润的空气被迫升高,例如风从山下往山上吹的时候,就有可能形成云。因此,山地迎风面比背风面的云多些,降水量也大些。当地面强烈受热的时候,空气也被迫上升。正是因为这个缘故,赤道上或者邻近赤道的地区,每天最热的那段时间几乎总是多云天气。

云的类型

人们好像总在注意云的形成,但是直到1803年,英国早期的气象学家L.霍华德才提出以云的外观为基础的各种类型的云的分类。他的工作为1896年出版的云的国际分类体系《国际云图》奠定了基础。航空事业的发展导致关于云的形成以及云和天气预报的关系的其他发现。最新版本的《国际云图》是世界气象组织1956年出版的。它列出10个主要的属,然后再根据外形和内部结构进一步划分为各个种。此外,在讨论云的种类的时候,还以云的排列和透明度为依据,也还有一种分类是以各属云通常出现的高度为依据的。按高度分类把云分成高云、中云和低云,其根据是温带地区这些云被观察到的平均高度的一个大致的范围。高度分类并不严格,可以互相重叠。因为空气的密度随温度而变化,云在极地地区倾向于最低,在热带却倾向于最高。

这十属云的名称是从霍华德划分的云的三大类的名称卷云、层云和积云,再分别加上"高"和"雨"而结合衍生的。通常高云距离地面的高度大约介于5 000米到13 700米之间,其中从高到低依次为卷云、卷积云和卷层云。卷云像纤细的羽毛,有时是分散的,有时是一簇一簇的,通常白色,没有暗影。卷积云看起来像很小的圆球或者鳞片。卷积云有时候造成酪乳或者鲭鱼那样图案的天空。卷层云有时候形状像紊乱的绢丝或者乳白色的云幕。天空布满卷层云的时候,有时候可以看见在太阳或者月亮周围有一个大的圆环或者说晕。这是阳光或者月光穿过冰粒的时候光线的自然折射造成的。

中云的高度范围是2 000米到7 000米,从高到低包括高积云、高层云和雨层云。高积云是比卷积云云片大些的圆形云块。高层云像一片灰白色的薄纱,布满天空,被它遮住的太阳或月亮看起来成了暗淡的光点。雨层云厚重、阴暗,不构成什么形状,通常会带来雨或者雪。

低云的范围是从地面到2 000米高度,从高到低,包括层积云、层云、积云和积雨云。层积云大,像波浪那样起伏,呈球形或者圆筒形,常常布满整个天空。层云一般颜色灰暗,像是横穿天空的条纹,或者像悬挂在地面上空的灰幕。层云一般不成形状。积云大小不一,小的像一个小马勃(近似球形或梨形的一种真菌。——编者),大的像一个巨大圆顶的、堆得厚厚的"羊毛包"。这种大的积云常常发展成为汹涌的雷云。这种风暴云、积雨云从扁平的底部算起直到圆形的穹顶,在纬度较高地带厚度是1.6千米-4.8千米,在近赤道地带厚度是12.9千米-14.5千米。不同属的云常常合并,因此要鉴定某个云的形成是非常困难的。

雨和雪

在一场大的风暴接近观察者的时候,温暖而湿润的空气上升,在远离风暴中心的高空扩散开来。随着这个气团的冷却,它的水分凝固冻结成为微小的冰粒,产生卷云。尽管风暴的中心远在千里以外,它的先行征兆已经来临,出现了羽毛状的卷云。稍后,随着风暴的逼近,卷云变厚,成为乳白色的卷层云或者小块的卷积云。如果天空有太阳或者月亮,可能见到晕。晕是个相当可靠的征兆,预告24小时之内将会降雨或者降雪。

晚些时候,云变得更厚。在比较低的高度形成了云。它是水的微滴组成的,而不是原先的冰粒。这已经是高层云和高积云。在北温带地方,风向通常将转向南,风力加强。到了这个时候,雨或者雪通常将在6到8小时降临。南风持续增强,最后阴暗的层积云和雨层云终于出现。这两种云一出现,往往很快就开始降雨或者降雪。

夏季清晨出现的小的白色的积云到了白天常常转变成阴暗的积雨云。这种云带来夏天的大阵雨,伴着雷、闪电和强劲的阵风。有些时候如果这种云高高地向上进入极冷的空气里,就会从积雨云降下冰雹。(参见:闪电;风)

温度高于冰点才会降雨——从雨滴直径0.01厘米的小毛毛雨到雨滴直径0.5厘米的倾盆大雨。温度稍微低于冰点,将会下雪。(参见:降雨;雪)

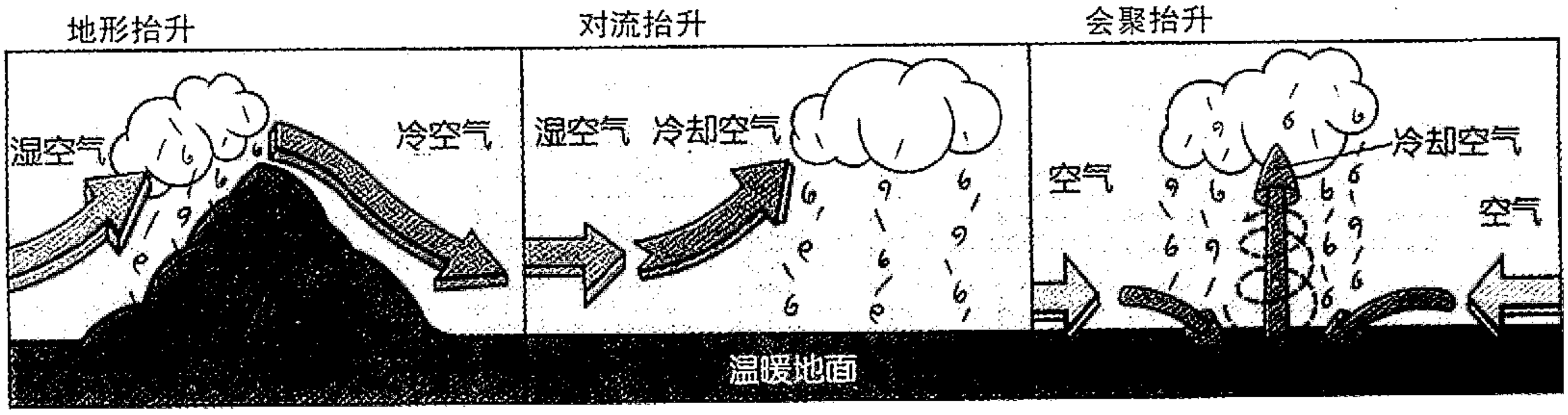
冰雹是由直径约为0.5到10厘米的冰球组成的。冰雹最常见于春季,主要来自雷暴时的积雨云。刚开始的时候,它只是从云里下降的雨的微滴,但是这些微滴可能反复地被强有力的风向上带到更冷的天空,被一层又一层的冰包裹,造成最大直径可达12.7厘米的雹块。直径小于0.5厘米,由冰粒和小雹组成的冰丸,开始的时候也是雨,也是上升气流把它们带到更冷的云层,使它们冻结的。在英国和美国的部分地区把雨和雪的混合体也称为雨夹雪。(参见:气候;气象学;天气)

降雨 RAINFALL

没有水,人们所知道的生

命将不能存在。农民靠水种植作物，饲养牲畜。降雨提供了原始的水源，即便在用水灌溉农田的地方也是如此。降雨实际上指的是一切形式的降水——降落到某一个区域的全部的水，包括雨、雪、冻雨、冰雹、露和霜。降雨量用毫米计算；10毫米的雨可以装满直筒雨量器10毫米深。100毫米雪相当于10毫米雨量。

世界各地的降雨量多少悬殊，雨量多的，例如夏威夷群岛考爱岛上怀厄莱阿莱山年降雨量超过11 990毫米，而雨量少的，例如智利的阿里卡，年降雨量只有0.8毫米。在气候温和的地方，如果年雨量达到510毫米或者更多，一般都作物繁茂，人畜兴旺。如果降雨的季节恰当，250毫米的降雨量或许也能满足需要。然而，重要的是降雨量的有效性。从陡峭的坡地迅速流失的或者迅速渗透到多孔的土壤深处的雨是没有效益的。雨水迅速流失的现象在城市地区特别典型，那里的商业街道、公路和停车场地都是铺就的路面。在多数情况下雨水流入排水沟和下水道，受到污染。其中的一部分最后经过土壤的过滤渗入称为含水层的天然地下水库，污染了地下水。如果大风、热带高温，或者非常干燥的空气使一个区域的水分迅速蒸发，那么这个区域也可能遭受缺水的困扰。在这种情况下，就需要超过510毫米的雨量来弥补损失。然而，过多的雨也是有害的，因为它侵蚀土地，溶解和排除土壤里的矿物质。



在地形抬升时，湿空气沿着有迎风面的山脉或者沿着一团寒冷浓密的气体向上运动，空气冷却，形成云和雨，山脉的背风面却依旧是干燥的。在对流抬升过程中，湿空气在移过温暖的地面的时候变得温暖。暖空气上升，冷却，形成雨云。在会聚抬升过程中，气团与气团汇集到一起，被迫抬升，它们随后冷却，形成雨云。

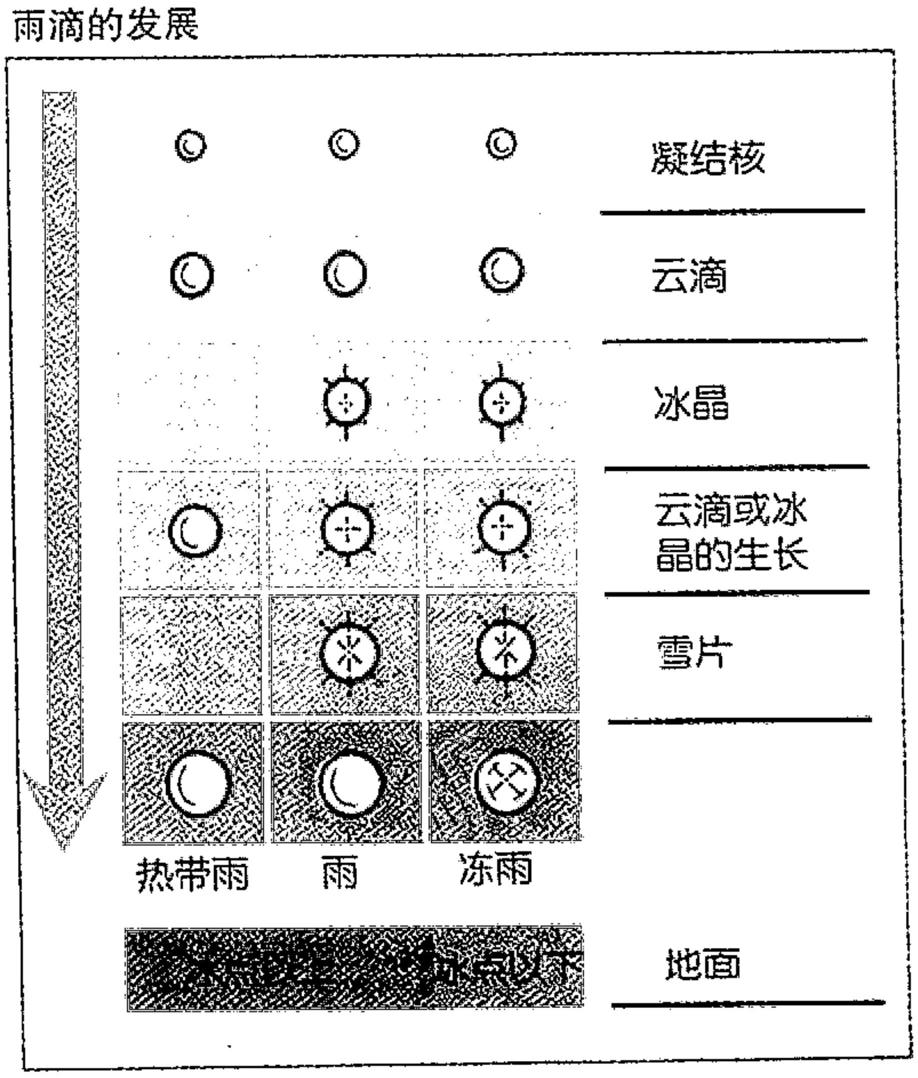
雨的形成

海洋是雨的主要来源，但是湖泊与河流也对雨的形成作出了贡献。太阳的热使水蒸发。它在凝结以前一直以看不见的水汽形态存在于大气里，后来先凝结成云，然后成为雨滴。凝结过程发生在空气冷却的时候。（见：云；水）

空气或者通过膨胀冷却，或者通过接触冷的物体例如大片寒冷的土地或者辽阔的覆盖着冰的陆地而冷却。空气通过寒冷的物体的时候失去热，它的水分凝结成为雾、露或霜。空气也在上升和膨胀的时候冷却。水汽在冷却的空气里凝结，形成云，有的时候形成雨。

有几个因素导致空气上升。会聚抬升是在气旋风暴例如陆龙卷的时候发生的。向一个气旋中心旋转前进的空气自己互相撞击，被迫上升。在对流抬升的过程中，空气接触一个温暖的表面例如荒漠，受热之后变得比四周的空气更有浮力。地形抬升是空气与一团比它温度低的浓密的气体相遇，或者与诸如山脉这样的上升地形相遇时的被迫上升。

雨滴的形成，必需空气里有例如尘埃或者盐类的悬浮微粒物质，而且温度在0°C以上。这种微粒称为凝结核。凝结核冷却到冰点以下的时候，水一层一层地在它周围凝结。微粒因此变得很重，它们不再往上升，而是穿过云往下降落。如果气流的上升运动特别强烈，例如发生雷暴的时候，雨凝结核可能变成很大的冰雹从云里落下来。如果空气的温度一路下来直到地面都在冰点或者冰点以下，降落下来的就是雪。



降雨过程开始于水分子在称为凝结核的浮游在大气里的微粒上凝结并形成云滴。除热带地区外，云滴先成为冰晶和雪片然后再融化成雨。如果雨滴在接触地面之前再次冻结，就成为冻雨或者冰丸。

雨云的形成可能局限于一个地方。炎热的夏天里，一个潮湿地区的上升空气在地面上空比较冷的空气里，可能产生积云，或者卷毛云。有更多水汽凝结的时候，这些云就变成昏暗的雨云（见：**风暴**）。这片雨云往往是这个区域天空惟一的云，天空其余部分依然一片晴空。在赤道附近炎热而平静的赤道无风带，这种雨暴几乎是持续不断地发生着的。有的时候在云里"播种"干冰或者碘化银微粒，用来代替天然的凝结核，可以迫使积云降雨。人工造雨商声称这个方法已经获得成功。（见：**天气**）

世界各地的降雨量

有的降雨是当地温暖的、有浮力的上升空气产生的，与此相反，地球上大部分地方接受的水分，大多是盛行风从远方的海洋带过来的。非洲东北部、亚洲东南部（包括印度次大陆、中国）、南美洲中部以及澳大利亚北部的大部分降雨，都是印度洋和太平洋持续整个夏季的季风带来的（见：**风**）。季风有季节性，它在大约 6 个月的时间里从一个方向吹过来，带来急骤的雨；在一年的其余 6 个月的时间里从相反的方向吹过来，这段时间里只有很少的雨。世界上某些地方，季风实际上提供一个区域的全部降雨量。如果季风没有吹来，结果往往是作物绝收，到处闹饥荒。在湿季里，潮湿的空气吹向升高的地面的时候冷却，在山脉迎风面降下大量雨水。在孟加拉北边的印度的乞拉朋齐就是因为这个缘故成为世界上降雨量最大的地方之一，平均年降雨量达到 11 430毫米，其中多数集中在 6 个月的时间里降落。

盛行西风吹过北美洲和欧洲的多数地方，这些地方多数的降雨是气旋风暴带来的。这些风暴可以比做空气的大旋涡，纵横千百千米，将边缘的潮湿空气吸引进来。潮湿空气接近风暴中心的时候聚集在一起，被迫上升。冷却的空气使水汽凝结，最初成为云，随后成为雨或者一些其他的降水的形式。俄罗斯的欧洲部分以及法国、匈牙利、阿根廷也都接受来自气旋风暴的相当多的雨量。（见：**天气**）

带着湿空气的风撞击高山的时候，高山一般是使空气偏向上升，迫使雨形成和降落。这样形成的雨大多降落在迎风面的山坡；背风面的山坡很少得到雨的好处或者完全得不到雨的好处。虽然怀厄莱阿莱山是世界上降雨量最大的地点（紧随其后的是乞拉朋齐），但是仅仅相隔几千米以外的山的背风面，年平均降雨量还不到 510 毫米。科罗拉多州西南部、中国西藏、呼罗珊，以及玻利维亚和秘鲁的一部分都是位于山脉的背风面的干旱的高原。

然而，也不是所有的荒漠都位于山脉的背风面。地球上的许多大荒漠——例如索诺拉荒漠（包括墨西哥的下加利福尼亚和西北部海岸，以及加利福尼亚州南部和亚利桑那州南部）、纳米布荒漠（非洲西南部），以及阿塔卡马荒漠（智利北部）——都位于各大陆的西海岸，海洋和山脉之间的地方。在这种情况下造成缺雨的主要因素有两个。一是盛行风的走向与海岸线平行，将含水分的云留在水面上，远离陆地。二是海岸线向上涌动的冷水使上方的空气冷却，空气丧失部分水分。当气团移动到陆地上来的时候，温暖地面加热空气，使得只有很少水分的空气仍旧保持气体状态。

可以用任何底是平的，周边是垂直的容器，放在能够直接接受雨水的地方测量降雨量。必须用很细的尺测量雨水的深度，因为粗的尺会抬高水位。少量的雨水很难测量准确，因此设计制作了一种专门的雨量器，它有一个漏斗和一个按比例设计的内部的容器，其中每 1 毫米的水等于实际上 10 毫米的降雨量。

雪 SNOW

大气里水分冰冻结晶成为雪。雪或者停留在大气里，以云的形式悬浮在天空，或者降落到地球上，几个月地覆盖着地面，或者在极地形成永久性的冰盖。

雪片是上百个冰晶的集体，形状千姿百态，变幻无穷，而且往往极其复杂。雪晶的大小和形状主要取决于雪晶在形成过程中的温度和水汽的量。雪晶的形成可以有两种不同的途径。温度在大约 - 40°C 以上的时候，水汽围绕漂浮在空气里的矿物粒子核结晶；温度再低，水汽就可以直接冻结成为冰晶。冰一般是六角形结构，因为这是氧原子和氢原子在晶体内的自然的排列方式。如果空气潮湿，冰晶将迅速增大、分枝、结团，形成雪片。在又冷又干的空气里，冰晶保持着小而致密的形态。

雪晶可以按照结构分为 7 类：板状雪晶、星状雪晶、柱状雪晶、针状雪晶、立体枝状雪晶、冠状雪晶，以及不规则雪晶。此外还有 3 种固态降水形态也归入雪的范畴。它们是：霰（雪丸或者软雹）、冰丸（冰粒），以及冰雹（多层的冰球）。

有几种云，主要是卷云和高积云、高层云，含有雪。这些是温度 - 20°C 左右的高层大气里最常见的云。从这些种云里降落的冰晶可能在到达地面以前就蒸发了，但是那些穿过低一些的云的冰晶，它们捕获水分，随着温度的不同，分别形成雪、冰丸、冰雹或者雨降落地面。人们在高山上看见的冰雾就是这些云。在极地地带，暖空气遇到近地面的冷空气的时候会形成冰柱和冰针降落，出现称为金刚石粉的奇特效应。将通常称为干冰的固体二氧化碳或者碘化银撒播到非常冷的水态云中，可以造成人工降雪。

雪永久地或者暂时地覆盖地球 23% 的表面，最大量的雪存在于两极地带。干净的雪几乎反射 87% 照在雪上的阳光。雪又是太阳辐射的不良导体，因此地球表面夜晚损失的少量的热，第二天白天又从太阳热得到偿还。虽然积雪保护了植被，不使植物受到严重霜冻的危害，终究它带来了寒冷的气候，推迟了作物的生长。春天化雪造成的径流进入河流，提供灌溉用水。

地面的雪无时无刻不在接受各种力的重新安排，其中包括风、温度和雪自身的重量。雪倾向于日益密集，当它年复一年经过春夏消融依然存在的时候，它可能转变成冰，形成冰川（见：**冰川**）。积雪覆盖的山坡在温度发生变化的时候可能发生雪崩。积雪的厚度和持续时间的长短取决于一系列的因素，例如降水量、风对雪的搬运、空气温度，以及太阳辐射强度。（参见：**气候**；**天气**）

霜 FROST 秋天早晨空气清冷，草地、人行道、屋顶和汽车上可能出现薄薄一层白色覆盖物。这一层覆盖物是空气里的水分凝结冷冻形成的。这种冷冻凝结的产物就是霜。多数人把霜看做冬天将要来临的让人高兴的信号。然而，农民却可能把它看做是灾难的信号。如果已经降霜而作物还没有收割，作物可能在采摘以前冻伤或冻死在地里。

霜是冷冻的水汽的微细晶体构成的。这些水汽没有先形成水就进入冰晶相。在海平面压力下，当空气温度达到冰点(0°C)时就生成霜。因为空气冷却的时候不能再保持在温暖的时候那样多的水分，于是水汽就凝结成为霜。

这是白霜，与此相反，另外有一种黑霜。它是人们看不见的霜，它的危害却比白霜大。温度降到零度以下的时候，植物内部的水分将会冻结。因为水在结冰的时候膨胀，这种黑霜使得植物细胞破裂，植物因此死亡。如果随后来的是解冻天气，植物通常变成黑色。

遇上严寒天气，黑霜也会深入土壤。生长在地面下的作物例如马铃薯和小萝卜，也会受到冻害和死亡。

霜与植物的关系的最重要的一个方面是确定作物的生长季节。农民按常年春天最后一场霜的离去和秋天第一场霜的来临调整作物的生长季节。例如在阿拉斯加，霜来得早，走得晚，生长季节很短。比较温暖的地区，生长季节要长些。国家气象局对不期而至的霜发出警报。这种警报对于诸如佛罗里达州、得克萨斯州和加利福尼亚州等柑橘种植区来说特别重要。保护作物免受杀伤性霜冻危害的措施包括用特别的加热炉给柑橘林升温；在树的上方安装大型风机吹风使空气流通；用水给树喷雾。水冻结后产生覆盖一层毛毯似的作用，在霜的持续时间不长的时候能够把霜冻的危害缩到最小。柑橘种植者最常用的装置之一是烧煤油的红外发生器。它向植物和地面直接发送红外线，补偿热的流失。也是在美国，东海岸和威斯康星州一带的蔓越橘的防霜冻措施是在它的生活周期的关键时候往蔓越橘沼泽里灌水。自然界本身也常常对防治霜冻提供帮助，它的重雾构成的浓云阻止植物向天空辐射热。

雾 FOG 一艘海轮的船长站在驾驶台上，周围除了灰色的云，别的什么也看不见。他焦急地倾听引他进港的钟声或者号角的声音。一架飞机的驾驶员在机场上空盘旋了几个小时，不能降落。他们和他们驾驶的轮船和飞机都被雾挡住了去路。

一个地方被雾笼罩的时候，一切事物都被包裹在灰色或者黄色的水汽里。按照国际公认的标准，水分的悬浮微粒使水平能见度小于1 000米的，称为雾。否则这些障碍物称为霾或轻雾。如果没有雷达的帮助，轮船和飞机在雾里应当小心行动，或者完全停止行动。

雾和露、云一样，是大气里的水汽形成的。水汽凝结，聚集在悬浮微尘上形成雾滴。海上的浓雾，每立方厘米的雾滴可以达到1 250个。即便是在海上，大气里的微尘数量也大到足以使水汽凝结成雾。

然而，只有在大气不再继续保持其中的水汽的时候，雾才能形成。大气由于某种原因冷却的时候，水汽离开大气凝结成雾，因为冷空气不能像暖空气那样保持那么多水分。空气冷却到露点(或饱和点)以下，也就是低于大气不能保持更多水汽的温度的时候，雾开始形成。

形成雾的另外一个必要条件是要有柔和的气流促使冷空气融进暖空气里。这就是暖空气温度下降到露点以下的通常的方式。在静止的空气里只能形成露，因为空气是在接近地面的地方冷却的。当气流快速升高的时候，空气在离地面很高的地方冷却，那时候只形成云。(见：云)

通常地面上的雾是在日落以后形成的，但是它可能延续到第二天。傍晚的雾出现在晴朗的天空。因为随着太阳落山，地球将热辐射向晴朗的天空，近地面的空气变冷。温度下降，雾于是形成。

地面将热辐射到空间而冷却，由此形成的雾称为辐射雾。平流雾是另外一种类型的雾，是暖空气通过冷的大块土地或者海洋的时候形成的。纽芬兰海岸外的雾是平流雾，它是来自湾流的暖气流向北通过拉布拉多海流水面时产生的。南方来的暖空气通过积雪覆盖的区域往北运动的时候，平流雾也能在陆地上形成。还有一种平流雾是冷空气通过温暖水域的时候形成的。

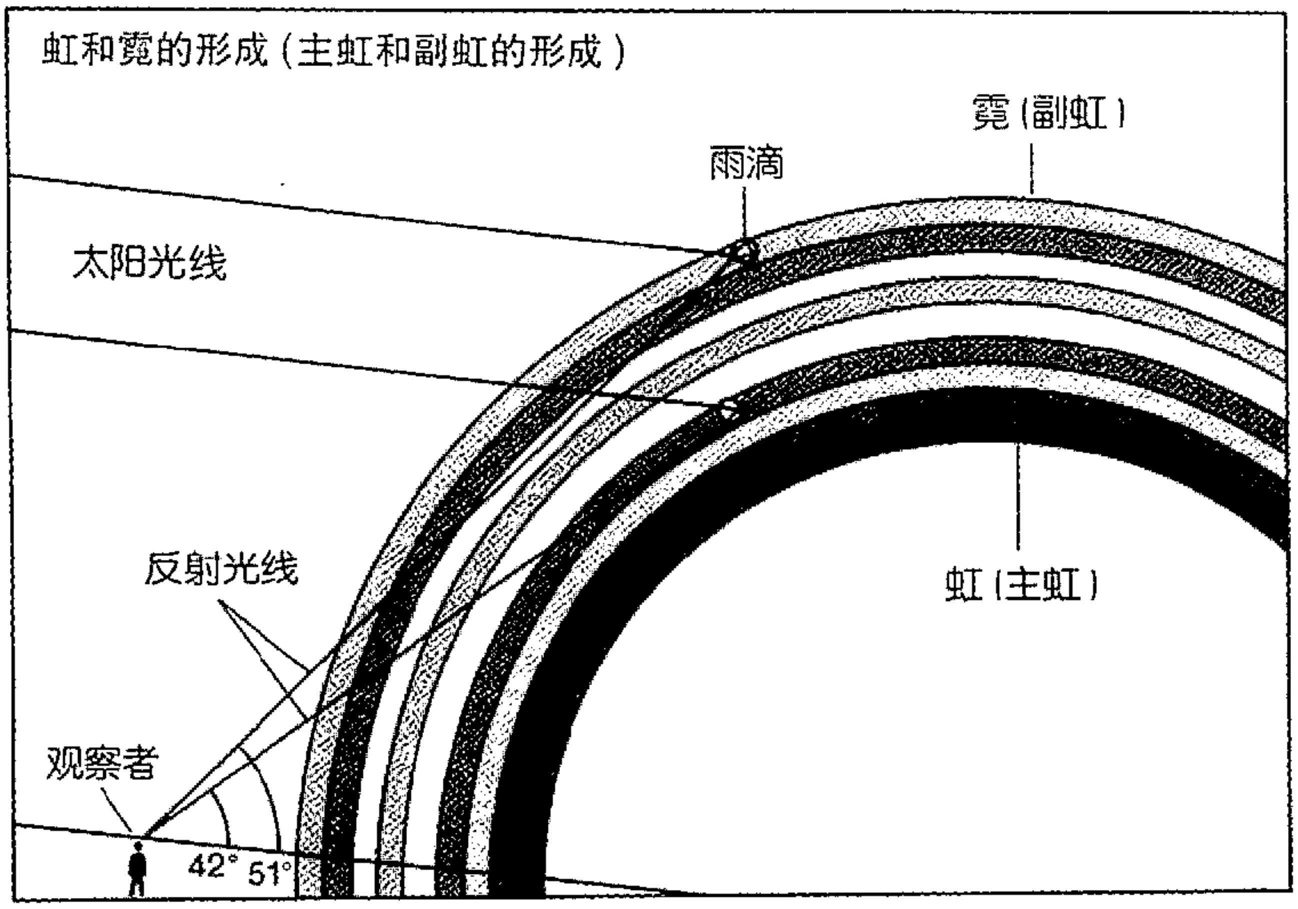
第三种类型的雾称为上坡雾。它是在一个气团通过一片高度逐渐上升的区域的时候产生的。随着高度增加，大气压力降低，空气膨胀。膨胀空气丧失热，于是产生雾。湿润的东风从大平原向上吹过落基山脉的时候，常常形成这种上坡雾。

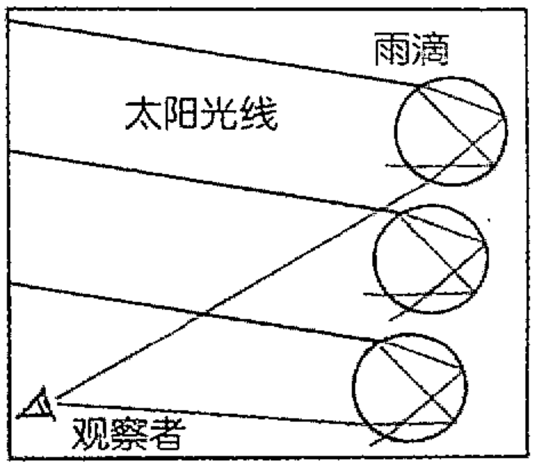
大城市上空烟和雾的混合体称为烟雾。因为城市向大气排出许许多多水汽，所以城市上空的雾总是比周围乡村上空的雾更大。这些水汽，加上灰尘、工厂烟囱排出的浓浓的烟，还有汽车排出的废气，它们混合成为浓重的烟雾，没有大风是轻易不会消散的。

减少烟雾成为一个难题，因为雾里带有到处都是的污物和硫酸微滴。一个解决的办法是在烟囱里安装烟的过滤装置。另外一个解决的办法是教育工业家和大建筑物的管理人员，要求他们更加有效地使用炉子。供汽车用的控制污染的装置也起一定的作用。

虹 RAINBOW 当来自远处的光，例如太阳光，射到聚集的水滴，例如雨滴、飞沫或者雾滴，就可能出现虹。虹是一个多种颜色的弧，它的"末端"似乎碰到了地面。只有观察者站在太阳和水滴之间的时候才看得见虹，因此虹出现在太阳对面的天空。虹的弧的中心位于从光源向前通过观察者的眼睛延伸到水滴区域的假想线上。

阳光射到从远方的雨云中降落下来的雨滴因此出现的虹是最常见的。通常这只发生在清晨或者下午晚些时候。太阳远离地平线，高高挂在天空的时候是看不见虹的。不过太阳在天空的位置比较低的时候就可以看见部分的弧。





虹的出现取决于悬浮在空气里的水的微滴折射（弯曲）和反射太阳光线的角度。红光折射率最低，紫光折射率最高。因此，明亮的主虹外侧是红色，内侧是紫色。发生亮度较弱的霓（副虹）的时候，它的色序与主虹相反。

事实上，如果太阳的位置相当低，而观察者所在的位置相当高，比如说在山上或者在飞机上，他可能看到环形的虹。

最鲜明最常见的虹称为主虹。虹的彩色的弧是进入雨滴的光线的折射和内反射形成的。白色日光的光线实际上是由光谱中全部颜色组成的（见：**颜色**；**光**）。在水滴内部白色光的光线分离成为它的各个组成颜色，并且反射回来射向观察者。主虹的颜色从内到外的排列顺序是紫、蓝、绿、黄、橙、红。红色色带与太阳光线构成大约 42°的角，其他色带依次构成较小的角。有的时候还可以见到另外一个亮度较弱的虹，这就是霓或者说副虹。见到霓的时候，它的位置在主虹的外侧，颜色排列顺序与主虹正好相反。它是光线从水滴的两个不同点的两次反射才进入空气的结果。更高层次的虹很弱，因此很少见到。

紧接着主虹内侧偶然也能看到色彩不那么明亮的彩环。它被称为伪虹，或者附属虹。雨滴极其微细的时候，出现差不多是白色的虹，称为雾虹。夜间出现的雾虹有时称为月虹，它是阳光被月球反射形成的，看起来像是一个环绕月球的环。

闪电 LIGHTNING

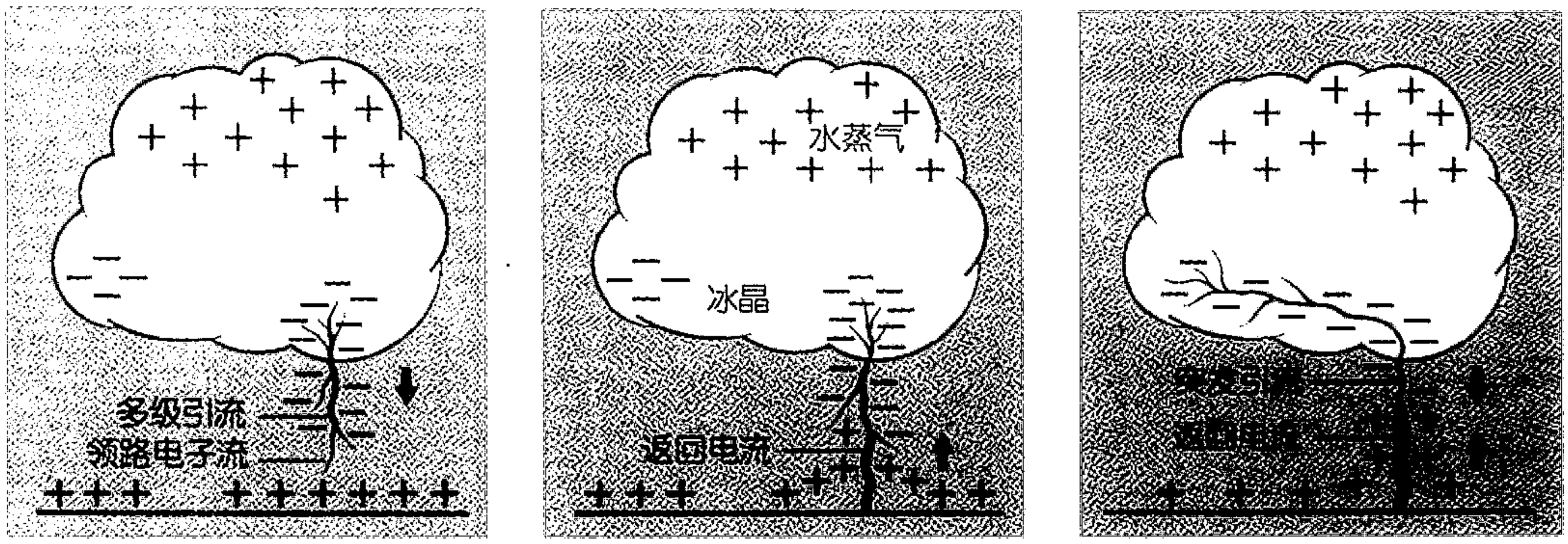
剧烈的雷暴和震耳的雷鸣、刺目的闪光一起，构成可怕的情景，每个人都看到过这些突发的锯齿状的电的奔流，而且也许被吓坏了。据估计，全世界在任一时刻发生约 3 500 次雷雨。这些雷雨在每秒钟内产生 100 多次耀目的闪光落雷。落雷的作用就像导体将地球和它的大气联结起来。雷雨和闪电是自然界平衡地球和较高层大气层间电力的一个途径。

古时候，人们相信闪电是发怒的天神射下来的箭。直到 18 世纪，对闪电的起因还没有科学的解释。1745 年，莱顿瓶（最早的电容器）证明电能够被收集而且储存很长时间。1752 年，富兰克林把这个知识应用于他所做的一系列实验。他通过演示证明闪电的作用符合当时所知道的电的原理，是一种放电现象。在 20 世纪中，科学研究人员，公用电公司和气象部门联合起来研究闪电的发生及其原因。已经了解了许多有用的事实，在完全了解闪电之前，还必须做更多的工作。

闪电的形成和放电

当大尺度云在地面上空形成时，大气中就出现大量电荷。在云的内部，大气团温度的迅速变化引发剧烈的活动。雨滴下落，空气流上升，细微水滴冻结。云内的一些水滴带上了正电。这些水滴被空气流带到云层的上部，并形成正电中心。云内形成的冰晶体带负电。由于它们的重量下降，并在云层的底部形成负电中心。为了平衡这些负电荷，地面的正电荷就集中在云层的正下方。

云层继续形成，正负电荷不断增加。因为不同电荷间的吸引，这些电荷有强烈的互相结合并中和的趋势。每个电荷处于很高的电势，企图跨接云层和地面间的空气间隙。空气是不良的导体，它阻止电流通过。在某个转折点，空气的阻碍被克服。一个小型放电，称为领路电子流，带着负电向地面运动。多级引流跟上，并使它的途径上的空气电离（见：**电**）。多级引流呈一系列锯齿状喷流，每个喷流约 50 米长。当领路电流与地面接触，高强度的回返电流从地面跳向云层，它沿着多级引流产生的电离空气的途径行进。这就是我们见到的耀目闪光的雷击部分。



当领路电子流从云内的负电荷中心向下运动时，闪雷就开始了(左图)。电流强度更强大的多级引流紧随着领路电子流。高强度的返回电流(中图)沿着多级引流产生的电离空气途径从地面跳向云层。当突发引流(右图)向地面运动并和另一返回电流相遇时，云中的第二负荷中心开始放电。

当云中的一个电荷中心的电荷消失了，相邻的电荷中心负电荷就进入取代。突发引流从第二负电荷中心沿着原来的电流通道向地面运动。它产生另一个返回电流，也向上运动到云层。放电连续进行直到放完了云中的电，恢复地面和大气的电平衡。闪电也在两团云间进行，同一云中的电荷中心也以热闪电方式进行放电。

响雷紧随着闪电的闪光。电流沿着放电的途径电离空气并产生大量的热。气体剧烈膨胀，产生以声速向外传播的压缩波。这些压缩波形成响雷。

闪电的影响

地球上每天有几千次雷雨，产生超过800万次闪电，大部分出现在热带和亚热带地区。大部分是无害的，但其中的一部分打击飞机、建筑物、船舶和人。对飞机、建筑物或船舶的直接打击能引起火灾或其他损害。对人的直接打击通常致死。现在，人们将更多更多的时间花费在户外活动上，雷击致死可能增加。闪电还可以沿着电线、电话线甚至沿着金属管打进建筑物内。

在有利方面，闪电在大气中引发相当数量的化学变化。当雷电通过大气时，产生大量的热量，使氮和氧结合，产生硝酸盐和其他化合物。这些化合物随着雨滴落向地面。因此，大气才能够不断地向土壤提供植物生长所需的养分。

闪电危害的防护

闪电受高建筑物吸引，几个世纪前就知道了。由近代的电学理论容易解释这现象。闪电是一个试图跨接地面和云层间的空气间隙的电流。它沿着电阻最小的途径——穿越最短空气间隙的路线。因此，地面上的正电荷将集中在地面的最高点，雷击经常出现在这点和云层间。为此，避雷针或避雷器必须安置在高于周围物体的地点。避雷器可以是安在地上的一个单极体，也可以是由框架支持的一群杆子，它们完全包围了建筑物。避雷器给雷电提供了一个好靶子，从而保护了周围的建筑物。

闪电通常打击在它范围内的最高物体。人站在田野中就是最高物体，因此成了主要目标。高树吸引闪电，它是一个不良导体。它严重阻碍电流通过，使得一部分电流在树旁闪光而过，打到附近的物体上。所以，在雷雨时站在树下是危险的。钢建筑物和车辆提供了电流到达地面的方便路径，应充分绝缘。

风 WIND

环绕地球运行的风带对气候和大气有很大的影响。因此，关于风的研究是气象科学的重要内容。(见气候；天气)

风的重要性还表现在其他方面。这些运动中的气团使地球的面貌发生变化。风和水一样，经常地剥蚀岩石，切割和挖掘峡谷。风的猛烈袭击带走了沙粒和土壤。这就是所谓的风蚀。在一些地方，风把肥沃的土壤埋到风吹来的沙粒下面去了。在另外一些地方，风带来了肥沃的沉积土。

地方性风

所有的风，从微风到狂暴的飓风都是大气温度的差异引起的，而大气温度的差异又是地球的自转以及大陆和海洋受热的不均匀造成的。

海洋和陆地的风是温度作用的简单的例子。太阳对陆地和水的加热有所不同。在海洋和湖泊上面，来自太阳的热能多数消耗于蒸发或者被水所吸收。空气并没有加热很多。虽然陆地吸收的热只有水吸收热的十分之六，但是蒸发的也少。因此陆地上方的空气就比水面上的空气接受更多的热量。

受热的空气膨胀，变得轻了些。在陆地上太阳升起来不久这个现象就发生了。海洋上方的空气的加热没有这么快，因此海洋上的空气与陆地上的空气相比，仍旧保持比较浓缩的状态，或者说仍旧重一些。它的压力在接近地面的地方比较大。到后来这股额外的压力终于开始流向陆地，推开挡路的较轻的陆地空气，使它向上抬升。这种运动称为海风。

夜间，发生了正好与白天相反的活动。陆地降温比海快，陆地上的空气也比海上的空气冷却得快。到了夜间某个时刻，风向转变，出现由陆地向大海吹的陆风。

昼夜的变化同样使山和谷之间出现微风。白天，山和谷的上方受热最大。谷的低层的较冷和较重的空气向谷的上方吹。夜间则发生与此相反的运动。

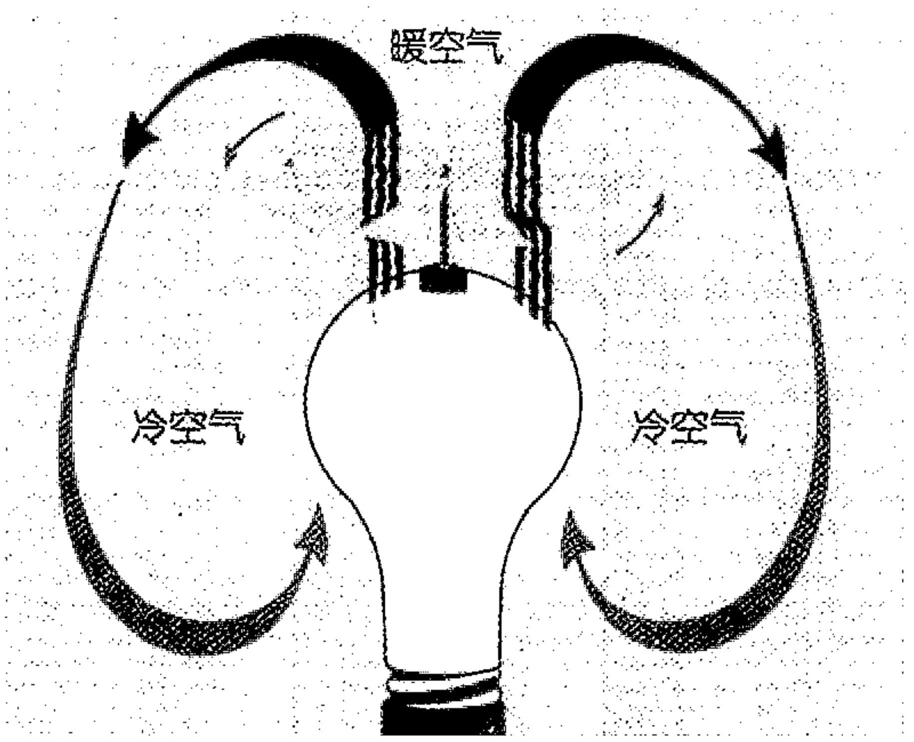
大气压和热

一般说来，贴近地表的所有的风都是大气压的差异造成的，而大气压的差异是不同的加热造成的。空气从压力高的地方被推向压力低的地方。天气图"高压"和"低压"清楚地标明大气压的情况。（见：天气）

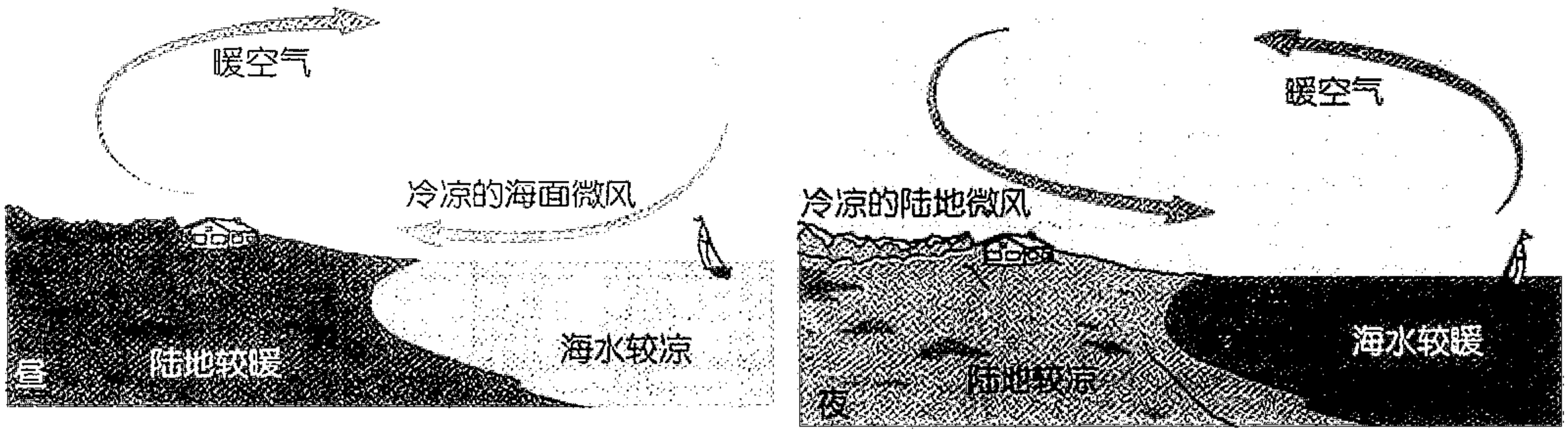
空气因为日晒受热，重量变轻，压力降低，这一概念，看起来似乎与人们的经验相反。当我们把空气压缩到打气筒里的时候，空气变重了，变热了。如果我们加热用软木塞封口的瓶子里的空气，它的压力将会增加，会把软木塞冲开。这些例子里，空气都是在密闭的容器里的。空气在自由流动的时候，加热就使它膨胀。每立方米中的空气量变少了。它变得轻一些了。在任何一点上的大气压一般都取决于这一点的上方空气的重量。如果这里的空气温暖，重量轻，它的压力就比冷而重的时候低。（见：热）

靠近地表的空气温度升高而且膨胀的时候，它必然倾向于向上流动。我们可以说它是穿过周围比较重的比较冷的空气向上"漂浮"。我们也可以说它是被周围的冷空气的更大的压力"强迫"向上流动。两种说法实际上是一回事。严格地说，一般向上流动的暖空气不能算是风。从侧面流动过来的冷空气才是风。

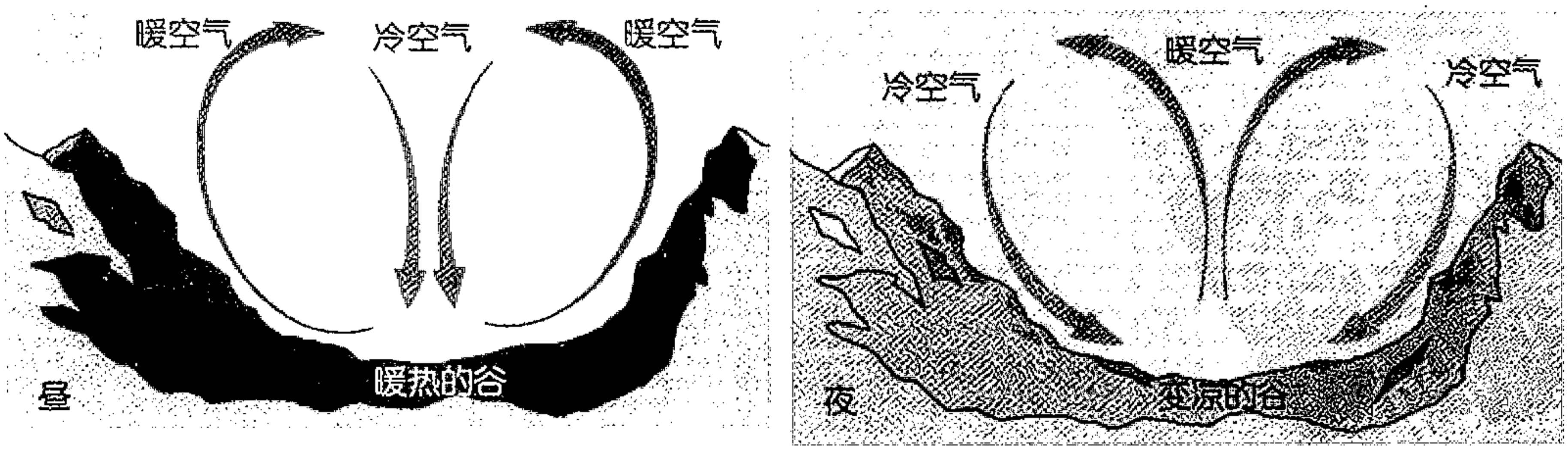
有些时候一个大的暖空气气团会从中心向外扩散，它的力量很大，足以把冷空气推回来。但是多数情况下，暖空气沿地面的运动是较冷空气的压力造成的。



这个实验表明温度的差异是怎样形成风的。用胶带将一枚平头的钉子固定在灯泡上面。将一个马口铁罐头切成一个叶轮，安装在钉子的尖头上。电灯泡加热空气，空气变轻上升，使叶轮转动。



陆地和海洋在受热和冷却两方面的不均匀产生微风。日间陆地暖热，大海冷凉。暖空气上升，冷空气下降。微风来自海上。夜间陆地冷凉，大海暖热。微风来自陆地。



山地受热的昼夜变化形成微风。日间加热的空气沿暖热的山坡上升，又下降到谷中。夜间山地变冷，环流向相反方向进行。飞机总是尽可能避开这种类型的上升气流和下降气流。

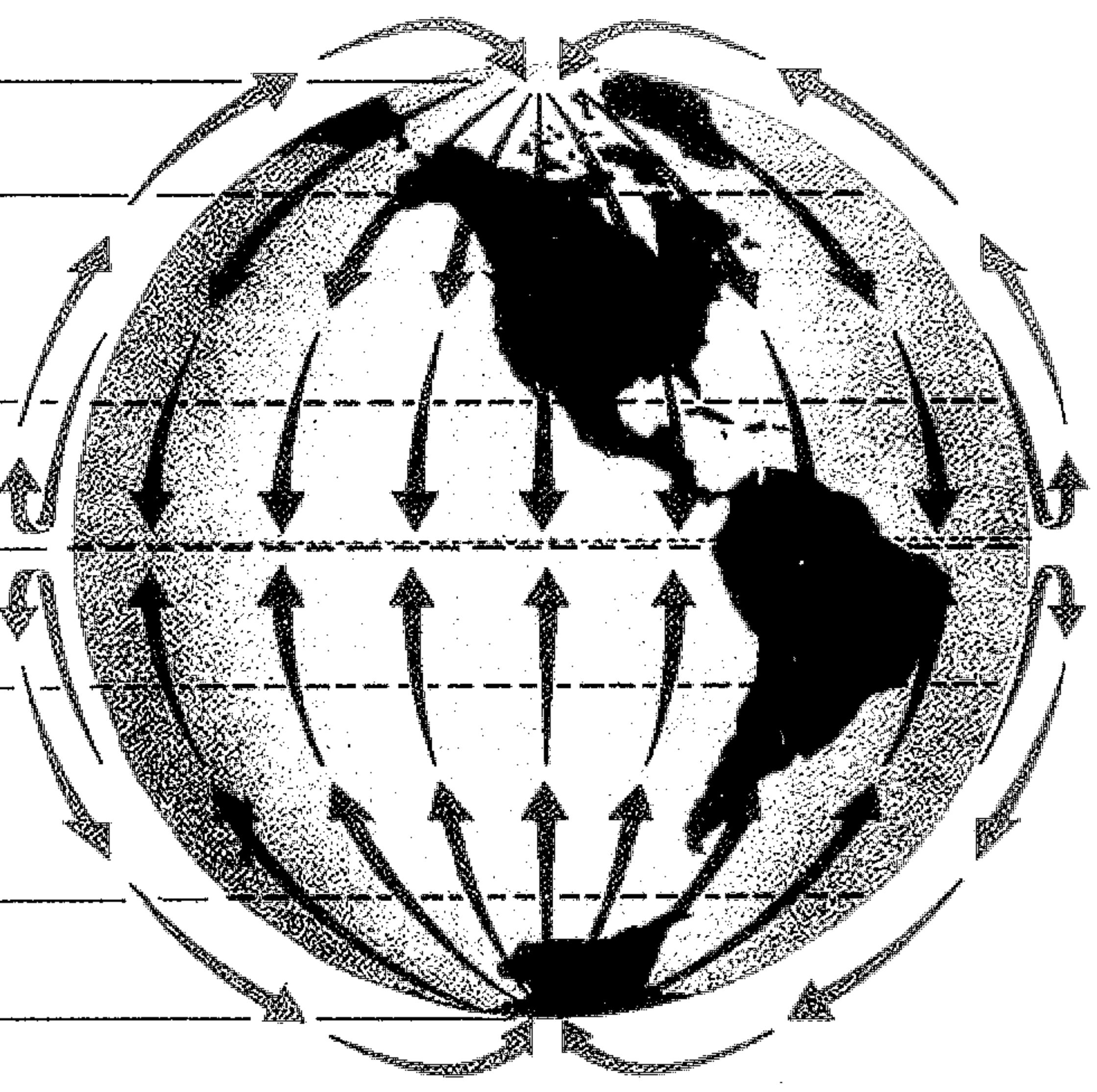
行星风

我们已经明白地方性风是怎样由于当地温度的变化形成的。全球范围的温度变化也会造成同样的全球范围的空气运动。这样大规模的空气运动称为行星风。温度的差异通过各种途径形成行星风。其中最重要的途径是太阳热量对热带地区和南北极地区的不同的效应。

从年初到年末，地球上加热最强的是热带地区。这就使得热带的空气又热又轻。来自北方和南方的较冷较重的空气无休止地推动着热带的空气。热带中心地带很少有风，因为主要气流是向上运动的。上升的气流变冷了，其中所含的水分凝结起来，使这个地区经常下阵雨，总是湿淋淋的。驾驶帆船的海员，常常在这个纬度因为没有风，几个星期停止不动，就把这个地区叫做赤道无风带。这个术语起源于一个古词 doldrums，原来的意思是"迟钝"和"呆笨"。

信风、副热带无风带和西风带

从赤道两边吹向赤道的风构成信风。这种风的命名来自"贸易"的古老的含义，意思是这是一条可靠的航线。信风并不直接吹向赤道。它们受地球自转的影响而发生偏斜。

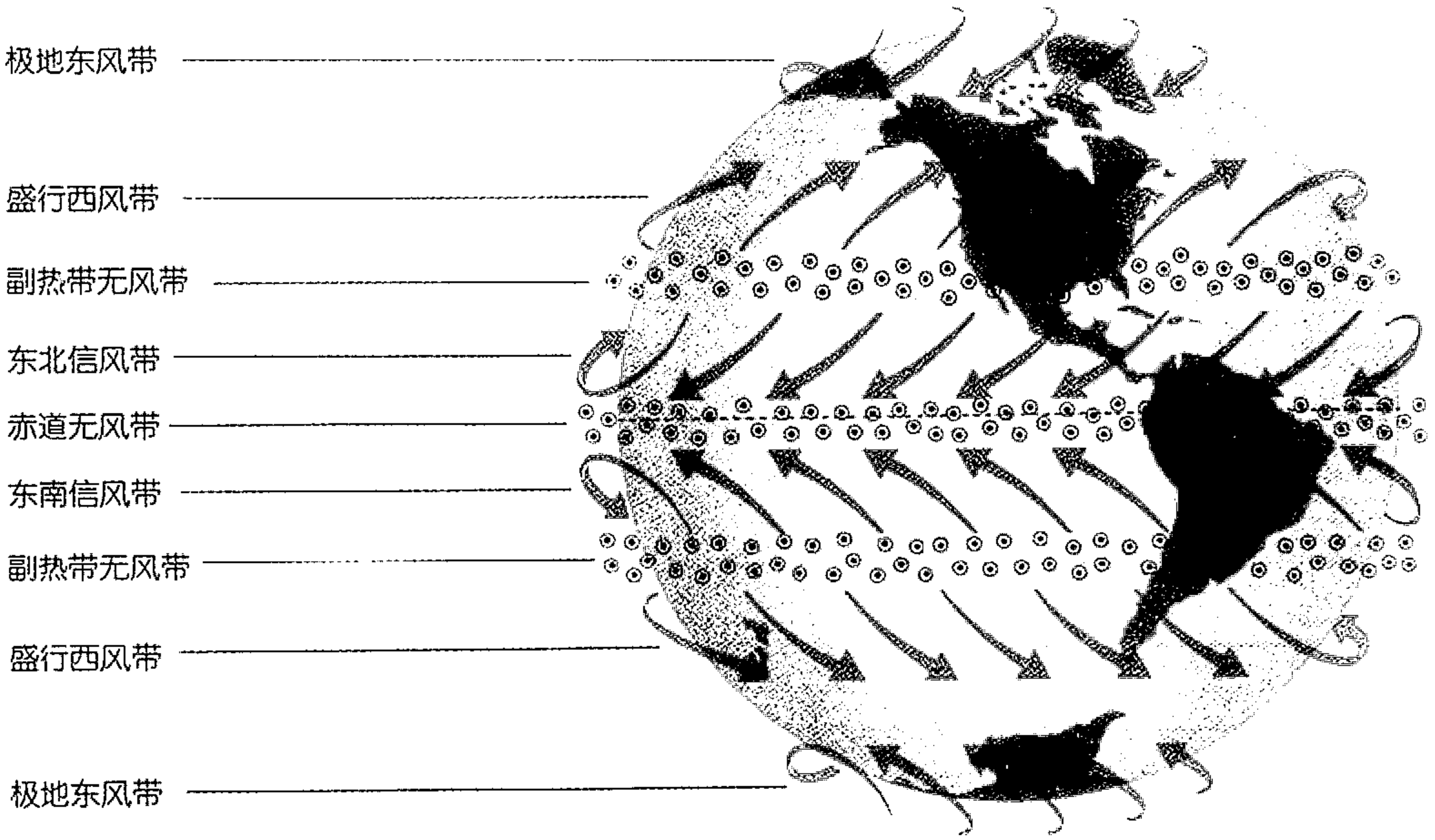


太阳的热引起环流世界的风。因为太阳光更加直接地照在赤道上，太阳给予热带的热量多于极地地带。热带的热而轻的空气上升并且向两极方向流动。与此同时，来自两极的冷而重的空气流向赤道。

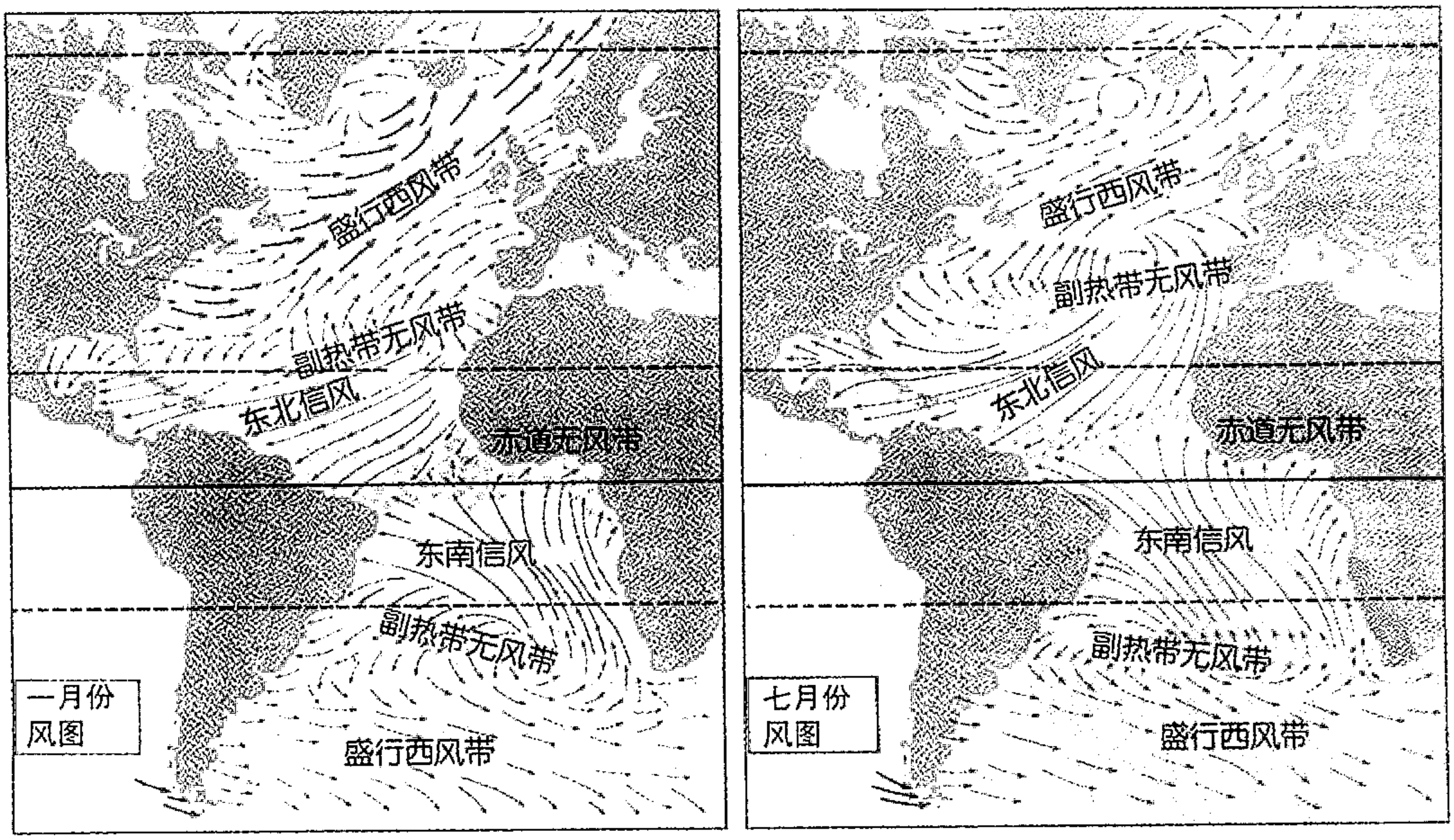
在赤道两侧除了信风带以外，还有另外的两个无风带，称为副热带无风带。这也许是因为过去在这个纬度上船只无风不能前进，造成船上马匹死亡的缘故。在赤道向上升高的气流，在向极地运动的过程中逐渐冷却，到达南纬、北纬 30°-40°的这两个地区的时候向地面降落。因为从一个很大范围里来的空气集中在一个很小的范围里，它就倾向于"堆积"在一起，迫使自己下降。这里的气流几乎是笔直地从高空沉降下来的，所以它不形成什么风。

这个地区又称做半永久性高压带。之所以这样命名是因为在海洋上空的大气压，倾向于维持比向赤道或者两极运动的时候的大气压高些。下沉的气流因为经受不断地从上方来的更多的空气的重量而被压缩。这样的作用也见之于地方性的从山坡吹下来的干热风钦诺克风或者说焚风。较低层的暖空气上升的路被阻不能上升的时候，它就以热风的形式沿着地表向外扩展。

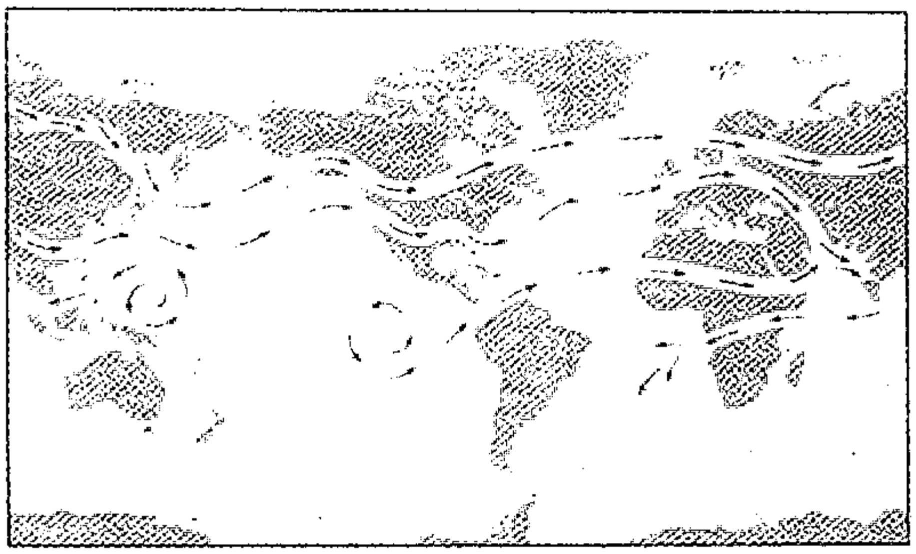
停留在副热带无风带的一部分空气立刻掉回头进入信风。其余的空气流向极地，在极地环流一段时间，然后再回头向赤道运动。空气在赤道高空以及随后在近地面的运动称为反信风。

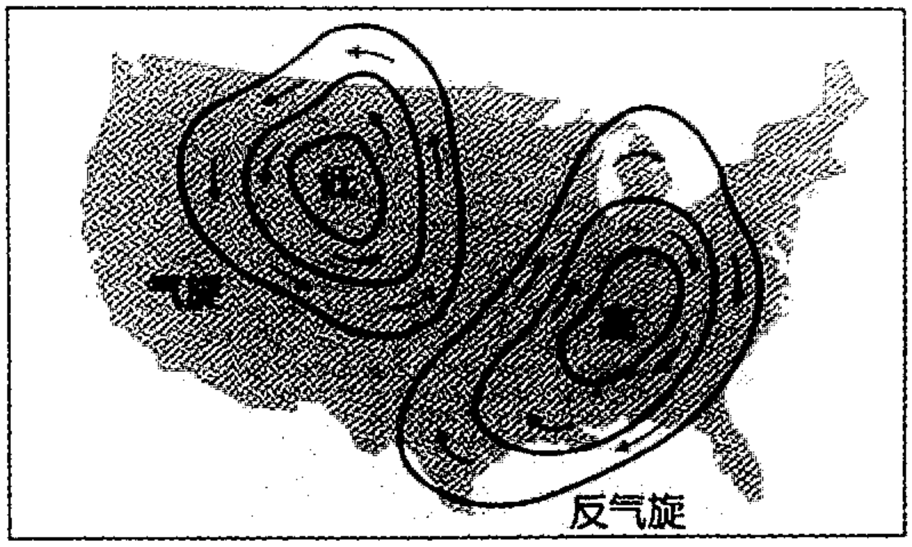


地球的旋转使行星风发生偏斜。向赤道方向运行的气流向西偏转，向两极运行的气流向东偏转。另外一种影响世界风带的是陆地和海洋之间的温度差异，这一点在“天气”条目中已经说明。



左图显示1月份大西洋的风带分布。箭杆的长度表示风势持续稳定的程度。粗黑箭表示风力强劲。环形表示风平浪静。右图表示7月份风带分布的改变。它们随太阳移动了位置。赤道无风带、信风带和副热带无风带都已向北移动。盛行西风带的风也不及1月份时从北美大陆吹过来的冷气流那么强劲。



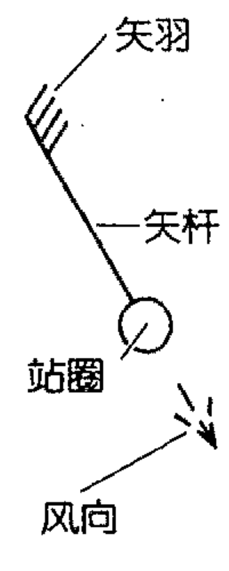


在高纬度地区有一股非常强劲的风称为西风急流。它在距离地球8千米-13千米的高度，每小时风速达到130千米-720千米。这对于飞行员和气象学家说来十分重要。气旋是低气压形成的暴风雨。在北半球气旋的风以逆时针方向向低压中心旋转。反气旋的气流则从高压中心向外旋转。

向极地方向运动的近地面的这部分风变得向东偏斜。它构成中纬度（温带）的盛行西风。海上的盛行西风十分猛烈，纬度40°因此赢得了“咆哮西风带”的名称。北半球大陆季节性的升温和降温加上气旋暴风雨破坏了这些风的规律性。南半球大片的陆地不多，所以这里的西风不受干扰，畅行无阻。

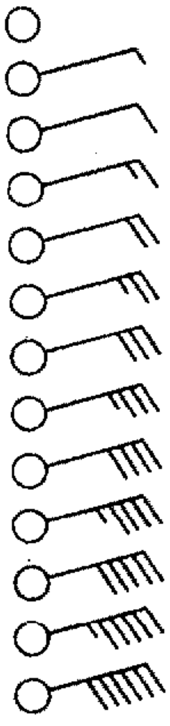
蒲福风力等级表

箭



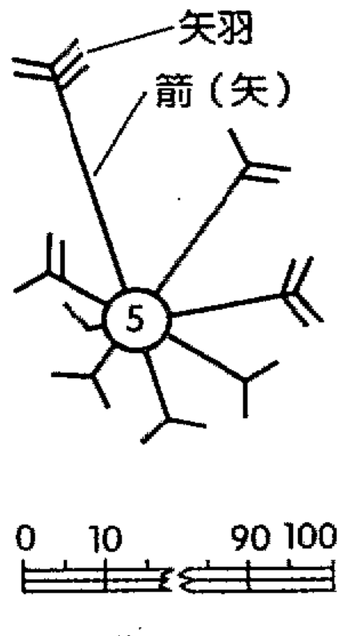
见于美国国家气象局天气图

蒲福符号



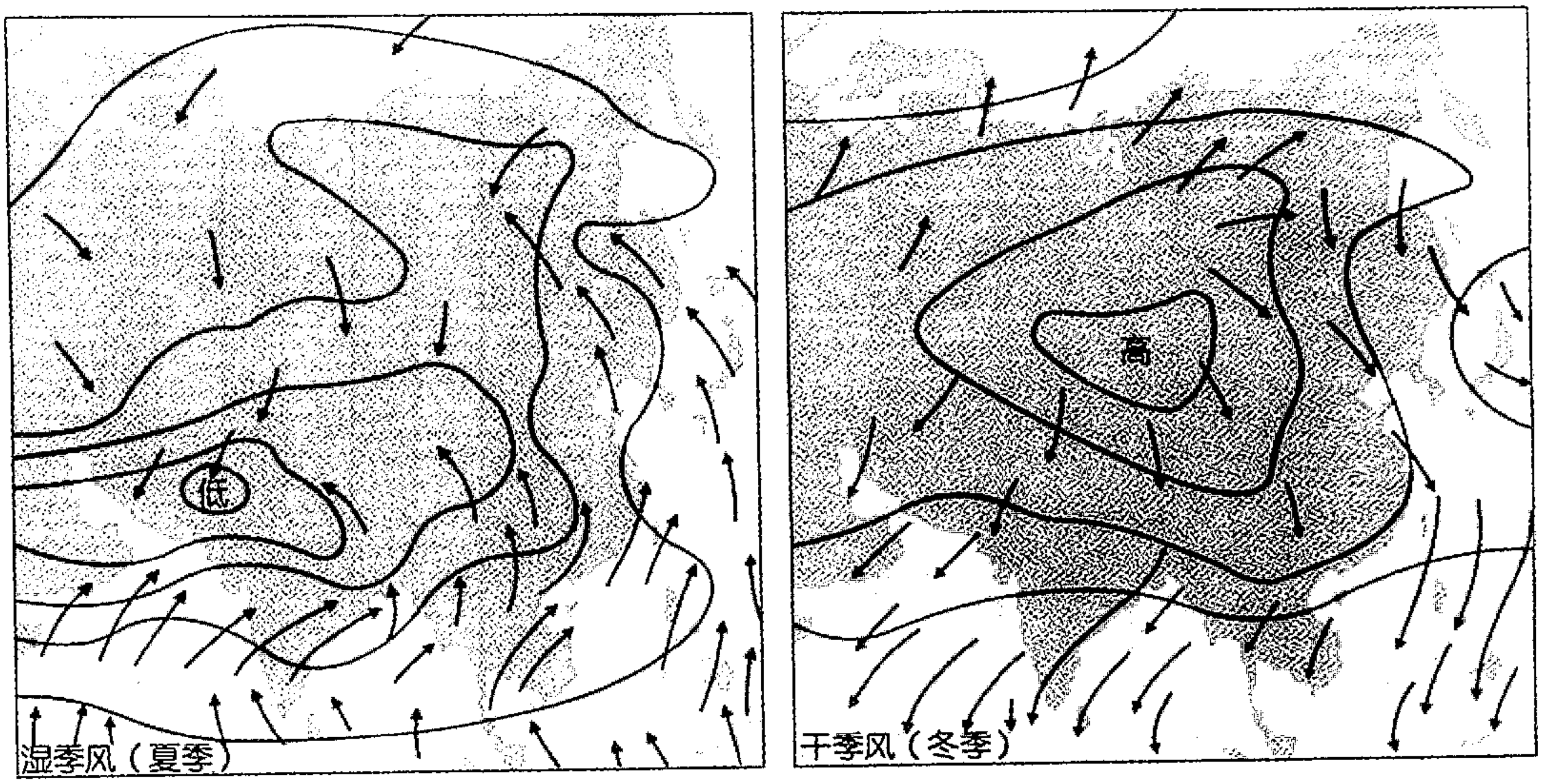
蒲福风级	名称	地物征象	风速 千米/小时
0	无风	烟垂直上升	<1
1	软风	烟轻轻飘动，但风向标不动	1-5
2	轻风	人面感觉有风，树叶微响	6-11
3	微风	树叶和嫩枝摇动	12-19
4	和风	能吹起尘土和纸张，小树枝摇动	20-28
5	清劲风	小树开始晃动，湖泊水面有小水波	29-38
6	强风	大树枝摇动，电线发出风啸声	39-49
7	疾风	全树摇动，行走困难	50-61
8	大风	嫩枝折断	62-74
9	烈风	松动的瓦片和烟囱被刮掉	75-88
10	狂风	树木连根拔起	89-102
11	暴风	发生大范围的毁坏	103-117
12	飓风	一切随风而去	118以上

风图



风力等级百分比见于美国海军海洋局领航海图

本表是根据英国海军上将F.蒲福爵士1806年制定的风力等级图改编的。箭头表示单次观测的风向和风力。在蒲福风力等级表中每一条矢羽表示2级风力。风图（风玫瑰）表示一段时间内对风向风速的观测。箭头可以表示16个方位。箭的长度表示往这个方向风吹的时间所占的百分比。刻度尺用来测量风的百分数。矢羽的数目与蒲福级数互相符合，表示风力。圆圈里的数字表示无风、软风和不定风的百分数。



夏季在亚洲内陆形成低压区。来自大洋的风旋转着进入低压区，把带来的水分降落到印度、印度支那和中国。这就是湿季风。冬季里内陆形成高压区。旋转的干风从高压区吹出来。这就是干季风。

极风

南北两极都把从冷凉到酷寒程度不等的猛烈的风送往赤道。在比较暖热的夏季月份里，冷风的势头微弱，但是到了冬季，寒冷的阵阵大风远远地进入中纬度地区。

这些风因为向赤道运动，所以都向西偏斜。它们在运动途中的某些地方与向东运动的盛行西风相遇。这两股气流随即相互作用形成气旋风暴。庞大的极地气团还可能被盛行西风牵引，成为向东运动的移动性反气旋。

季节移位和季风

因为行星风是来自太阳的热造成的，太阳随着不同的季节改变位置，行星风就随着向北或向南移位。风的移位滞后于太阳的位置变化。来自太阳的热量增加的时候，这个热先被地球吸收，经过一段时间之后，空气的温度才会升高。来自太阳的热量减少的时候，贮存的热量释放出来，空气的温度仍旧得以维持。

海洋保持一定的温度，海洋上空的风并没有明显的季节性变化。陆地表面不具备像海洋般的吸收和散发足够热量的能力。大陆的空气有显著的季节性温度变化。它出现在太阳的热量减少或者增加以后大约两三个月的时候。

季风现象可以用大范围的大片陆地上巨大的季节性温度变化来说明。例如印度和东南亚的夏季盛行风从印度洋和南中国海吹入受热的大陆腹地。这种夏季的季风往往带来大量雨水。而冬季的盛行风则是从寒冷的大陆腹地吹出来的。这种冬季的季风往往是干燥的。季风的季节转换的原因还在于高层由西往东的称为西风急流的风的移位。夏季里西风急流的位置向北移，使湿润的海洋空气进入亚洲。冬季里西风急流位置的南移，拦住了湿润海洋空气的北进道路。

风是从它吹来的方向命名，而不是以风吹过去的方向命名的。例如，如果你面对西方迎风站立，那么这就是西风。

特殊的风

反气旋 一个环绕高压区旋转的风的系统。在赤道以南反气旋逆时针旋转，在赤道以北顺时针旋转。

碧瑶风 菲律宾的一种热带气旋。

暴风雪（北美）和**布冷风**（西伯利亚） 夹带飞雪的寒风。得克萨斯州称为强北风。

钦诺克风（落基山）和**焚风**（阿尔卑斯山） 从山坡下沉涌流到山麓的平原的干热焚风。在加利福尼亚称散圣安娜风。

气旋 一个环绕低压区旋转的风的系统。在赤道以北气旋逆时针旋转，赤道以南顺时针旋转。

地中海季风（地中海东部） 夏季由北方吹到撒哈拉沙漠，冬季由近东高地吹向地中海的季风。亦称梅尔特风。

哈麦丹风（非洲） 吹过撒哈拉沙漠的东北季风。这是一种持续不断的干燥而充满尘土的风。

飓风 大范围的猛烈的热带气旋。常见之于西印度群岛和中国海。

急流 西方吹来的高风速的狭长的空气流，经常出现铅直切变。

喀新风（埃及） 埃及的一种热、干、多沙尘的南风或者东南风。

密史脱拉风（地中海地区） 从罗纳河谷吹出来通过里昂湾的一种猛烈的极冷的北风。

季风 冬季从幅员广阔的大片陆地吹过来，夏天从相反方向吹过去的季风。主要出现于南亚和非洲。

西蒙风 来自亚洲和非洲荒漠的携带尘土的干热风。

西罗科风（地中海地区） 来自撒哈拉沙漠的闷热多沙尘的风。

飑 因为冷空气侵入而速度突然增大的风。飑线为排列成带状的雷暴群。在阿根廷称为帕姆佩罗风。

陆龙卷 伴随有漏斗状云的破坏力极强的旋风。它在一条狭窄的路线上行进。常见于美国中部。在海面上出现的称为海龙卷。

脱拉蒙塔那风（意大利） 从阿尔卑斯山吹来的清新凉爽的北风。

台风 西部太平洋的一种热带气旋。

旋风 猛烈程度小于龙卷的旋转的气团。亦称沙（尘）暴。

温和西风 地中海地区来自西方的微风。

飓风 TORNADO 见：风暴

风暴 STORM

风暴是大气的扰动状态。这个术语含有强调破坏或者不愉快的天气情况的意思，它的特点是大风、大雨、大雪、雨夹雪、冰雹、闪电，或者是所有这些现象一起出现。每一种风暴类型——雷暴、气旋风暴，以及龙卷、飓风和台风——在大气条件适合它生成的时候，都遵循一定的周期发生在特定的季节里。

风暴

多数风暴都伴有大风。没有降水或者只伴有少量降水的风暴发生于高压气流区域和低压气流区域相互遭遇的时候。这两个气流区域之间的温度往往也有显著的差别。暖的空气上升，冷的空气下降；低气压区域也从高气压区域的边上向下滑落。可以把这个概念形象化地想像为一股气流从一个空气的大山（一个高气压区）边上流下来。这座山的坡面越陡，气流向下流动得越快，风也刮得越大。

气象学家和航海家认为风速达到每小时 64 节或者说 117 千米的时候，风力就达到了暴风的等级。风暴常被称为强气流，风速为每小时 50 千米- 102 千米。其中每小时 50 千米- 61 千米的风称为疾风；风速每小时 62 千米- 74 千米的，称为大风；风速每小时 75 千米- 88 千米的，称为烈风；风速每小时 89 千米- 102 千米的，称为狂风。我们称为风暴的多数大气扰动的风并没有这么大。例如雪暴可能完全没有风。

沙暴和尘暴是干燥的风暴。沙暴是与荒漠区域联系在一起的。发生沙暴的时候砂粒被大风刮到空中，猛烈的风沙可以把玻璃刻划出道道，擦掉汽车以及其他金属或木制品表面的漆。这种风暴刮起来的沙粒很少有升高到离地面 3 米以上的，虽然有时到达离地 15 米的高度，但是这种情况很少发生。迎面而来的沙暴就像一堵相对地比较低的界限分明的浅棕色的墙，它逼近的时候似乎突然长大了。沙暴一般在白天多数地面发生增温的时候形成，在黑夜里逐渐消失。

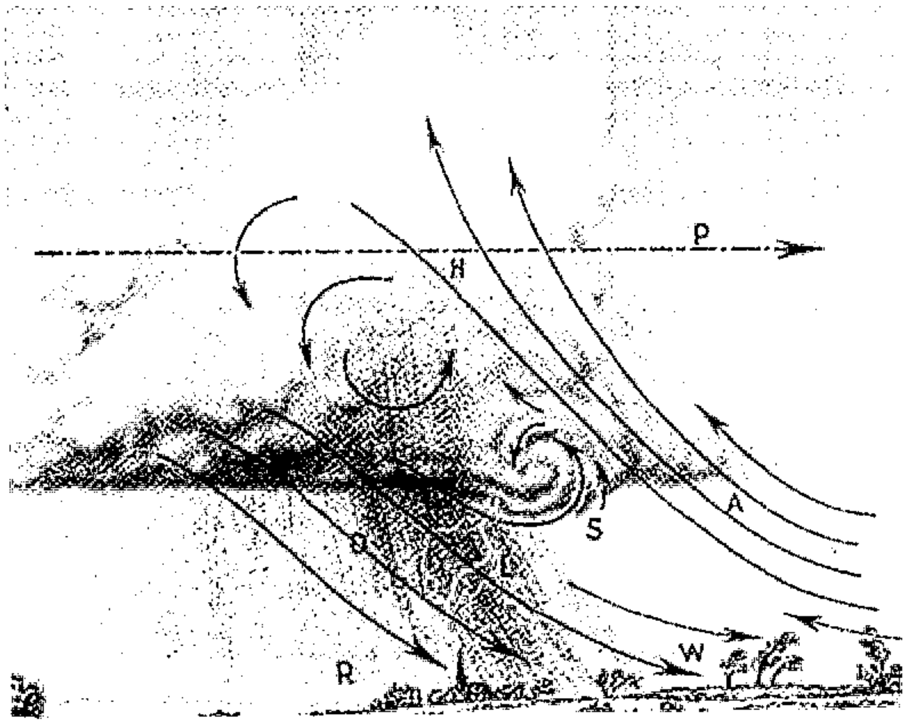
尘暴经常发生在农地被抛荒或者因为少雨而干燥的地区。上升的风把松散的土壤送到高高的空中，把它带往几百千米以外。尘暴往往是突然发生的，成为一堵高达几千米的尘土墙。因为风扬起来的尘土颜色不同，这些尘土墙可能是黑色的，带红色的，或者棕黄色的。尘土墙里的空气又干又热。微细的尘粒渗进每一物件，进入关得严严实实的门，渗进机器的各个部件，甚至进入上了锁的碗橱。发生尘暴的时候，连在室内的人也会觉得满嘴是土，牙碜。

其他类型的风暴都伴有浓厚的云，而且是"湿的"。冷空气使风暴云里的水汽凝结，以某种降水形式降落地面。在平常夏季降雨里，水汽是以雨的形式降落的，有的时候伴有冰雹。到了冬季，水汽通常冻结成为细小的雪晶，然后才降落下来。（参见：降雨；雪）

为什么会发生雷暴

在世界上许多地方雷暴是极其普通的现象，例如北美洲大部分地区就如此。这些风暴是暖空气的上升气流引起的。上升气流可能产生于一个被太阳晒热的地方。它被加热的程度，远远高出它周围的土地。例如，裸露的地面、岩石地面或者铺筑过的路面，它们的上方通常都有上升气流存在。与地面接触的空气受热以后变得比周围的空气更轻，浮力更大。这些浮力更大的空气上升的时候把水汽带到更高的天空。空气上升，变冷，水汽凝结，开始以雨的形式降落。雨降落的时候，带动空气，使一部分铅直气流下降。铅直气流可能再次上升，使雨在云中翻腾。其中有些可能冻结成为冰雹。微水滴或早或晚会变重，重到足以与上升气流对抗时降落地面，同时还将空气以下沉气流的形式曳着一起降落。雷暴是一个或者多个单体组成的。单体是个气象学名词。每个单体都有两个气流，一个向上，一个向下。一块大的云里会有好几个这样的单体。

雷暴即将来临的时候，人们可能会觉得有一股微风吹向风暴云。这是温暖的上升气流。随后是从风暴云的方向吹来的冷的下沉气流，驱使人们匆忙去寻找躲避风雨的地方。下沉气流之后在一两秒钟之内就会有大雨，淋得人浑身湿透。擦身而过的风是交替出现的上升气流和下沉气流，温暖的地面风补充上升气流，冷凉的下沉气流冲击地面，并向四周扩散。



强劲的局部加热造成一股上升的暖湿气流(A),它在升高的时候冷却成为积云。随着水分的增加,积云变成雨云。雨(R)开始降落,引起一股冷空气的下沉气流(D)。它的前沿是一阵强烈的阵风(W)。在两股下沉气流之间可能是云里有雨滴翻腾的滚轴碎雨云。雨滴几次上下可能冻结成冰雹(H)。翻腾产生静电,聚集足够电荷以后,可能在它和地面之间触发闪电(L)。盛行风(P)把云全部席卷而去。本图显示上升气流和下沉气流的一次简单的组合,气象学家把它称为一个单体。一场大的雷暴包含几个单体,合并成为一个巨大的云块。

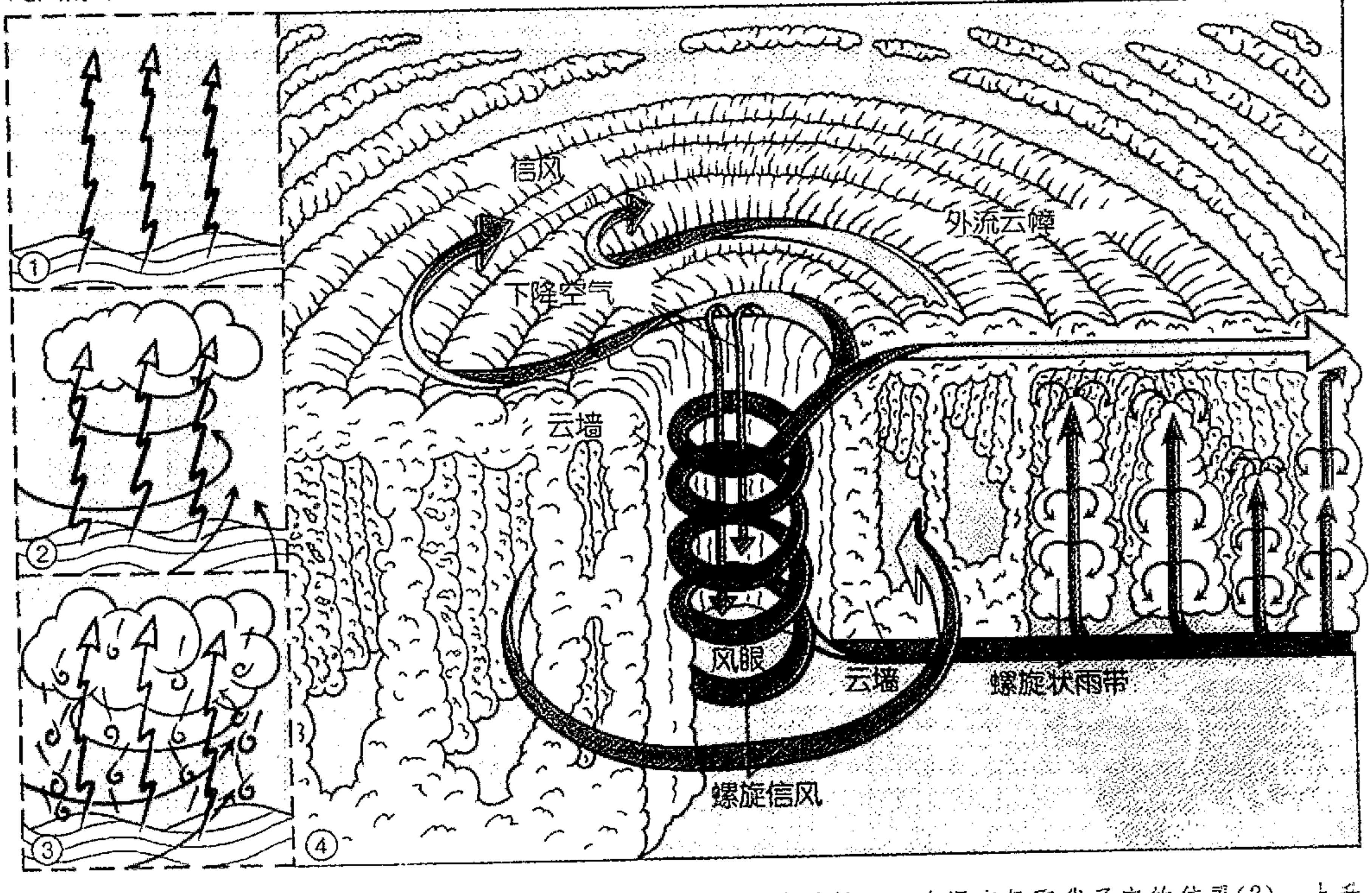
雷暴是纯粹的局部扰动,覆盖面积通常只有几平方千米。大部分雷暴延续时间不长,通常只有30分钟-40分钟。一个地区被雷暴困扰似乎持续了几个小时,这是因为雷暴是另一场雷暴的最有效的触发器。处在消亡过程中的雷暴的强有力的下沉气流冲击地面,扩散开来,把地面温暖潮湿的空气向上高高扬起,产生又一场新的雷暴。(参见:云)

雷暴消耗的能量是巨大的。假设在26平方千米地面上降雨25毫米,降水的总量将超出60万立方米。这么多的水蒸发以后,如果在与一场雷暴一样长的时间里通过机械使它冷凝成雨,这个机器的功率要超过600万千瓦。

有的时候可以诱发暴雨。当条件合适的时候,飞机上的飞行员可以把干冰撒在云里触发冷凝和降雨。然而,人类还不能随时人工造雨,因为人还没有方法产生造成一场风暴所必需的动力。

在热带地方一年的200天里可能都有雷暴。路易斯安那州的新奥尔良是一个靠近热带的城市,一年里有雷暴的天气可能有70天,而马萨诸塞州的波士顿,这样的天气可能只有16天。气象学家估计从全世界范围来说,任何时候都可能有多达1 800个雷暴正在发生。

飓风的形成



飓风起于热带洋面,开始的时候是局部风暴。在暖空气上升的时候(1),冷湿空气取代了它的位置(2)。上升的空气凝结成雨,释放出热,增暖上升气流(3)。横断面图(4)显示,飓风的部分空气下沉进入风暴眼,但是多数空气呈螺旋状气流进入外流云幛。高空和低空的信风决定风暴的路径。

气旋和龙卷

气旋与雷暴不同，往往覆盖几千千米的范围，风向着低气压中心区域吹。气旋因为受地球自转的影响而呈螺旋式旋转前进。通常它在北半球反时针方向旋转，在南半球顺时针方向旋转。

龙卷有时被错误地称为气旋，它是在引起雷暴的大气条件异常的时候出现的。从相反方向来的风环绕着一股强上升气流触发了一个狭窄的狂暴的旋涡。离心力将空气从中心向外抛出，留下一个气压很低的中心。

这个低气压中心的作用就像强有力的真空，它刮走房屋的屋顶，拔出瓶子的软木塞。在旋涡的边缘，风速可能达到每小时 483 千米或者更多。龙卷开始的时候，因为它是由细小的微水滴组成的，所以它的漏斗柱是带白色的。漏斗柱触及地面的时候，因为其中包含它吸起来的全部碎片，变成了黑色。这些碎片可以包括石块、树干，以及建筑物的组成部分；被龙卷风卷入空中的还有汽车、马、整棵树、蛙群和鱼群。漏斗柱的边缘撞击到建筑物的时候，那些碎片就像一把嗡嗡响的锯子，碰到什么锯开什么。龙卷通常以每小时 40 千米-64 千米的速度向东移动，一路上穿过一切事物切割出一条狭长的通道。幸好龙卷波及的范围不过几百米宽；它可能把一条街上一边的房屋全部摧毁，另一边的房屋却丝毫没有受到损坏。通过水面的龙卷称为水龙卷。

飓风和台风

热带地方的气旋风暴可能发展成为无比巨大的强度，成为一切风暴中破坏力最大的风暴。从上往下看，因为气旋的中心部分——风眼里没有云，相对地比较平静，看起来气旋就像是一个大的面包圈。一个风暴的直径可能有 100 千米-2 000 千米以上，风眼宽约 20 千米-100 千米，风眼的界限分明，周围是圆筒形的云墙。热带风暴总是在洋面上开始的，它经过的高温洋面是它的能量来源。它横扫海岛和半岛，常常沿海岸线掠过。当它冲击大面积的陆地例如大陆的时候，它将逐渐消亡，因为风暴的能源已被切断，陆地造成的摩擦减低了风的速度。

发生在大西洋水域的这种风暴称为飓风，这个名称来自西印度群岛。在西太平洋的风暴称为台风，这个名称来自汉语，意思是"大风"；在菲律宾称为南半球热带飓风；在澳大利亚称为威烈威烈或者畏来风；在印度称为气旋。在世界各地气旋或者飓风这两个词常常用来指每小时风速大于 121 千米的风。亚里士多德说的台风是指伴有风的云。一般说来，在太平洋西部所说的台风比它的对手大西洋飓风要猛烈得多，可怕得多。这是因为太平洋比大西洋大得多，台风在到达陆地之前有更多的时间发展。

飓风的特点是极其猛烈的大风和暴雨；剧烈的雷暴和水龙卷都是隐嵌在风暴云系里的。飓风咆哮着登陆以后，风眼经过头顶的时候看起来似乎风暴已经结束。风暴的大雨大风后突然出现明朗的天空和几乎使人恐惧的宁静。然而一两小时以内风眼过去了，风暴的另一边袭来，重又带来破坏性的大风和引起洪水泛滥的大雨。

风暴潮是与飓风相联系的另外一种现象。风暴潮和潮汐波一样，是由风暴的大风和大气的压力变化造成的水墙。风暴潮袭击海岸线的时候，往往会带来巨大的破坏，有的时候比飓风带来的大风和龙卷造成的灾害还要大得多。波涛汹涌的海浪淹了海岸城市的事并不少见，有的时候会造成大批居民和牲畜死亡。

飓风最初在诸如西印度群岛这样的热带深处生成的时候，起始顺着信风向西移动。然而，与北半球所有大的气流运动一样，它又被地球的自转驱使向右偏斜，这个现象叫做"飓风转向"。转向以后飓风通过加勒比海进入大西洋。

可以根据人们熟知的征兆作出飓风预报。起初是因为薄薄一层霾造成的暗红色的夕照。空气变得湿热。气压表上显示的气压是高的，风完全静止。海面上有增长的涌浪。风暴逼近的时候，气压突然降低，标志从高气压到低气压的急剧的改变。地平线上的雨云奔涌前来。然后是铺天盖地的滂沱大雨。

飓风的风向常常遵循一定的规律即风暴定律。船长可以设法躲避危险的低压中心区，在北半球行船，他让右舷（右边）迎着风，在南半球让左舷（左边）迎风。于是船就可以朝着风暴的边缘航行，离开风暴。有的时候船驶进风很小，甚至没有风的飓风眼，然后再一次落入风暴之中。

风暴造成的后果

风暴是自然界可怕的威力的表现。一场雷暴消耗的能量据估计要比一个原子弹释放的能量还大。龙卷、飓风和雷暴的闪电每年使数百人丧命，使数十亿美元财产遭到损失。气象学家知道他们没有办法控制风暴，但是他们正在学习了解风暴，预告风暴。他们利用这方面的知识发布风暴警报，避免人的伤亡，最大限度地减少财产的损失。

撰文：Albert Snow

气溶胶 AEROSOL

在空气中细碎地分散并处于稳定状态的液体或固体称为气溶胶。云是水滴在空气中的天然气溶胶。含有固体碳粒和灰尘的烟尘与雾及某些其他化学品结合后，形成一种有害的气溶胶，称为烟雾（见：雾）。工业化的气溶胶——加压产品——有杀虫剂、消毒剂和卫生消毒剂、洗涤剂和清洁剂、蜡、汽车用产品和涂料、如油漆和发胶。食用气溶胶产品的一个例子就是搅拌过的奶油。

气溶胶工作原理

在某些气溶胶产品中，将待喷施的产品用一种称为喷射剂的气体保持着压力。一俟阀门打开，该气体即将该产品以喷雾或泡沫的形式喷出。

在某些气溶胶商品中，将气体加压贮存于罐中。该罐封闭后气体充满该产品上面的空间，使用产品时气体即膨胀。随着产品的消耗，压力不断降低。这种类型的气溶胶用于释放大滴的喷雾，如用于洗衣的预去污机、表面杀虫剂和发动机起动器中。

欲得均匀的压力，须将产品与喷射剂相混合，后者可以是一种液体，当使用产品时它急速蒸发到剩余空间中。如

果将一种适当的气体在足够的压力下溶解在产品中，也可获得同样的效果。必须蒸发该气体以保持压力。

采用喷射剂的类型取决于产品的最终用途。食品的常用喷射剂——必须无味、无毒——有二氧化碳、氮和氧化亚氮。非食品气溶胶的最常用喷射剂是烃类，通常是丙烷、异丁烷和正丁烷的混合物。合成化合物中的氯氟碳化合物(CFC)类成员也已广泛应用。各种CFC又称碳氟化合物，目前在若干国家中已很少使用，因为它们可危害环境。

气溶胶对环境的影响

臭氧是氧的一种形式，天然存在于地球的高层大气中，形成一个气层，可防止一部分紫外辐射照射到地球上。如果这个大气臭氧层变得更稀薄，则会有更多的紫外线到达地球，可能损害作物，恐怕还可能导致人类的皮癌发生率增加。

20世纪70年代，有些科学家断定，臭氧的浓度正在缓慢降低。他们说，来自气溶胶及其他来源的CFC正在上升到高层大气，在那里被紫外线分解。这种作用释放出氯原子，后者与臭氧形成新的化合物。理论上，大气臭氧在此过程中逐渐减少。

这种研究结果引起广泛的注意，1978年美国政府在大部分产品中禁用CFC气溶胶。两年后，美国声明，它打算首先制止所有产品中CFC产量的增长，然后急速削减生产。气溶胶工业辩驳这种行动，宣称臭氧耗竭论有问题。他们还坚持，美国的行动没有国际合作，损害了美国工业而不解决任何问题。到了1981年底，只有加拿大、瑞典和挪威与美国一起禁止CFC气溶胶。欧洲共同市场各国已贯彻缩减使用碳氟化合物喷射剂。

烟雾可危害多种物质，包括动植物。化学方法产生的一团烟雾可刺痛眼睛并使呼吸困难。如果烟雾产生于大量烧煤和工业排放气体废物的地区，则这种有害气体通常含有二氧化硫和氮的各种氧化物。汽车排气含有燃料的未完全燃烧部分。

有害物质有时可传播很远。例如，二氧化硫可与大气水分化合而生成硫酸。然而风可将含酸的云吹走许多千米，然后才以污染性酸雨的形式释放出它的水分。

在阳光强烈和风力轻微的地方，所产生的烟雾危害最大。在这种情况下，大气逆温常在一个地区的上空保持一团静止的空气。(在逆温中，重空气位于较轻空气的上面并压住它。)阳光使一些汽车排出的烟气变为臭氧。停滞空气中的臭氧增多，可导致很多危害。烟雾的有害作用已成为制定防止污染的法律中的主要因素。

干旱 DROUGHT

不下雨而刮风，将从北达科他到得克萨斯和从科罗拉多到密苏里的亿万公顷美国农田的表土吹走。这是20世纪30年代初的尘暴，是美国历史上最恶劣的一次干旱，它赶走了这些地区一半以上的人口。

尘暴是称为不能预料的干旱的一例。干旱是正常降雨量适度的地区发生的异常缺雨。它通常影响的区域不大，一般发生在科学上归属湿润或半湿润的地区。

干旱还有3种类型：永久性干旱、季节性干旱和无形干旱。永久性干旱的特征是最干燥的气候，例如北美洲西南部或东非的干旱地区；东非在20世纪80年代遭到它在该世纪最严重的干旱。在这些地区，没有长期灌溉就没有农业。

季节性干旱发生于气候分为雨季和旱季的地区。这些地区称为具有热带或副热带气候。有许多这样的地区位于赤道附近：印度次大陆和东南亚，以及非洲、中美和南美的某些部分。加利福尼亚州南部和澳大利亚南部也属于季节性干旱。欲使农业成功，必须将种植安排得使其生长期在雨季。

无形干旱发生在夏季，这时高温引起高速蒸发。即使阵雨频繁，也不能补充损失的水分。

加利福尼亚在20世纪80年代大部分时间遭到严重的干旱。1988年是中西部农田区数10年间所遇到的最干旱的一年。1993年夏季，正当中西部下透雨的时候，而南方，从东海岸到得克萨斯却几乎无雨。

测量 SURVEYING

测定地球表面或近表面的位置、点和线，亦即测量地球。测量有多种目的。测量者可确定国界、州界和私人财产边界；他们设置准确的标志，以便建造建筑物、道路、桥梁和水坝；他们还可绘制地面和海底的地图。

现代测量应用多种仪器来测定距离、角度、高度和方向。测量者使用钢卷尺来测定短距离。早期的测量中使用冈特型测链，长20米，80测链等于1.6千米。目前，电子仪器可更准确地测定距离，它们依靠电灯光、激光或无线电波来计算走完该距离并返回源点所用的时间。

测定角度时，测量者通常使用经纬仪或中星仪。这些仪器是装在三角架上的小型望远镜，带有固定的水平度盘、垂直度盘和调平装置。仪器正下方悬有一个铅垂，用于确定对平面的垂直线。度盘均标有度数。用望远镜观测一个目标，然后再观测另一目标，测量者量度二者在刻度盘上的夹角。

测量水平仪用于测定一个点的垂直位置或高度。测量用水平仪是一个望远镜，其安装方式使它可根据调平气泡或装在水平仪上的其他装置来调平。它与一把水准尺并用，尺上标有厘米或英尺的刻度。测定两点之间的高度时，一个助手在一个测点垂直持尺，而测量者从另一测点用测量水平仪观测。测量队从一个测点移至另一测点时，可测定新的高度。利用膜盒气压计或沸点气压计来找出两个高度之间大气压差的方法，也可进行垂直测量。测量者利用罗盘、天文观测或卫星广播来测定一个点的方向。

方法

测量者依靠几何法和三角法来测量土地。他们常先在正在测量的土地上构思一个假想的、由若干三角形组成的网络。他们可选取3个山顶作为一个三角形的3个顶点，并量度各对邻边之间的夹角和一条边的长度。然后他们即

可利用三角学算出其他距离。然后循此量出各个角度，他们即可在该网络中增加越来越多的三角形，使每个三角形都与已量度的三角形有一条共用边。对于较小的平坦地区，测量者采用三边测量法，即量度这些三角形的所有三边的长度，而不是角度。

另一种测量方法称为导线测量。一系列连接各点的直线称为导线。量度各导线的长度和相互间的夹角。将各导线进行排列以返回始点，从而可查出错误和校正数据。

测量类型

测量按照待测面积的大小或测量目的而分为不同的范畴。在平面测量中，被测面积很小，以至地球的曲率在数学计算中无需考虑。面积很大，以至曲率成为一个要素时——跨越 19 千米——这样的测量称为大地测量，必须采用其他数学方法以校正由于曲率而引起的变形。

土地测量中测定水平位置和高度，习惯要确立基准点，以指导施工或指示地界。在地形测量中，高度测定很精确，以描绘出地形图——一部分地球表面的缩尺图——所需的山脉、山谷和平原的地势起伏。进行工程测量以标出建造项目所需的点和线。地下测量详细说明开凿隧道、下水道或矿井或者铺设管道的位置。制图测量测定地图中所包括的某些地理要素的位置。因为地图的种类很多，制图要完成许多不同对象的测量，从国界和道路到城镇、海岸线和水体的位置。（见：地图和地球仪）

装在飞机上的摄影机和装在船舶上的声呐装置，已为古老的测量领域增加一种新的手段。在航空摄影中，一架飞机在海上来回飞翔，摄下交叠的照片，测量者可以根据这些照片绘出一个网络。因为摄影机的透镜使下面景观的影像变形，所以利用测图仪和计算机来绘出准确的最终影像。

在船舶和潜水艇上装设称为声呐的回声装置以前，测定海底和湖底外形的水道测量，必须利用连接在长线上的铅垂来进行。采用声呐时，通过测定声呐所发出的声音脉冲离开船舶、由海底弹回和返回船舶共用的时间，即可准确地算出距水体底部的距离。这种技术与人造卫星网络结合起来，可使一艘船舶测定自己在海面上的准确位置，即可对海底进行大规模的详细测量。

撰文：Allan Chen

地图和地球仪 MAPS AND GLOBES

地面上任何地点或特征的位置，均可在地图或地球仪上表示出来。地图通常绘于平面上，地球仪则绘于球面上，但是二者都是地球全部或一部分的绘画或图片，尺寸大大缩小。也可绘制月球、行星或从地球上所见天空等的天体图和天球仪。

没有可表示出一切的地图。每幅地图上的各个特征均根据其特定目的而选择。因此，地图不同于航摄照片，后者可显示出所有可见的物体，不管它们的相对重要性如何。地图与航摄照片不同，不仅可表示出可见的特征，如海岸、河流、道路和城镇等，还可表示出不可见的地下特征，如地道和地质岩层。它还可显示出抽象特征，如边界和经纬线，它们不见于航摄照片。

地图表示出地面上的各个特征是如何排列或分布的。地图还可表示出任何因地而异的现象或关系——例如人口密度、作物产量或降雨量。因此，地图不仅表示出物体在地球上的地点，而且还是认识地球的表面如何和为何到处不同的有用的地理学工具。

地图和地球仪的类型

行政地图重视人为特征或人文特征，例如国家、州、省、县和城市的边界和位置。自然地图重视自然特征，例如山脉、平原、河流、湖泊和海岸。但是，在大多数行政地图和自然地图上均表示出人为特征和自然特征。例如，行政地图通常表示出重要水体，自然地图通常表示出最重要的边界和城市。

典型的教室地图或地图集为一般用途地图，兼有自然和行政特征。主题地图为特殊用途而绘制——是一种仅表示出一种或数种信息的地图。主题地图还可分为注重自然特征的地图和注重人文特征的地图。

自然主题地图可表示出岩石和矿物、地形、天气或气候、植被、土壤或磁倾角之类的地球物理现象的分布。人文主题地图可表示出人口、语言、宗教、土地利用、运输或制造业的分布。

月球是宇宙中除地球外已将其表面特征详细制图的惟一天体。由于火星具有大气，已可能绘制出它的简单天气和气候图。其他行星由于被稠厚的大气所遮蔽或者距离太远而不可制图。但是，许多世纪以来已绘制出一些恒星位置——从地球上看——图。实际上，人们在古代文明时期已经认识这些星座的"地理"，比认识地球还好。天空图或称星图，不表示出太阳、月球和行星，因为它们不同于恒星，从地球上看，它们的相对位置每天和每月都变化很大。

地球仪实际上是特种地图——绘在球面上的地图。地球仪提供与普通地图相同种类的信息。行政地球仪较常见于家庭中，自然-行政地球仪较常见于教室中。在较新型地球仪中，有的将地势制成浮雕并表示出植被的颜色。但是，这些颜色不是严格逼真的，因为它们表示出整个地球的全部夏季叶子，而北半球与南半球的夏季并不相同。

地球仪的表面有时制成石板色，以易于用粉笔标注。有些石板色地球仪显示出大陆的外形；其他地球仪则没有。石板色地球仪适用于研究地球的经纬系统——经度和纬度——和绘出大圆和数理地理学中的其他曲线。利用它们还可任意绘出地球表面上的任何曲线特征。

除地球外还有其他天体的天球仪。其中以月球仪最为常见，尤其是在 1959 年月球背离地球的一侧首次被摄影以后。最常见的非地天球仪像一幅星图。但是，它将称为天球的图——或从地球上所见的全部天空图——包围在一个天球仪上，表示出各恒星的位置。

因为地球实际上为球形，最好用地球仪来代表它。地球仪表示出从外部空间观察时它的实际样子。地球各地区的距离、方向、形状和大小，只有在地球仪上才能准确地表示出来。也只有在地球仪上才能表示出来它们之间的真正相互关系。地图由于是平面的，总是缺少这些必要特性中

的一种或多种。那么，为什么使用地图呢？

地图所以普及的理由之一，就是地球仪比地图昂贵得多。实际上，大得足以表示出许多细节的地球仪是如此昂贵，以致只制造出很少几个，它们只能在专门展览时才能看到。此外，地球仪，特别是大型的很难携带和存放。地球仪的其他缺点是，它们使观察者同时只能看见地球表面的一半。他们所看到的这一半的边缘地区是按照透视法缩短了的，外形已变形。

虽然地图将地球表示为平面的，而不像地球仪那样表示为球形的，但是它们与地球仪相比，具有许多优点。地图因可迅速生产并需要较少的材料而价格较低。地图可方便地折叠或卷起以便携带或者铺平以便存放。在地图上可以同时看见地球的整个表面。

可以表示出地球的一小部分的、在地图与地球仪之间的一种实用的折衷办法，就是球面地图或局部地球仪。这是曲率与较大的地球仪相同的一种缺口圆盘。它通常大得足以表示出一个完整大陆。球面地图准确地表示出地球的形状，但是比地球仪生产起来比较低廉，并且携带和存放比较容易。一个地形模型表示出一张地图，但不是平面的。地形模型给出所示地区中山脉和河谷的天然的三维形像。

地图比例尺

地图的比例尺指出，它比它所描绘的地球上某些地区缩小多少。地图比例尺是地球上各种特征的大小与地图上相应各种特征的大小二者之间的数学关系或比例。绘于地图上的最简单的比例尺是图示比例尺，它是一种用尺在纸上绘出的直线或矩形，通常标以千米或英里单位。地图上的任一距离都可用图示比例尺来标明和计量。

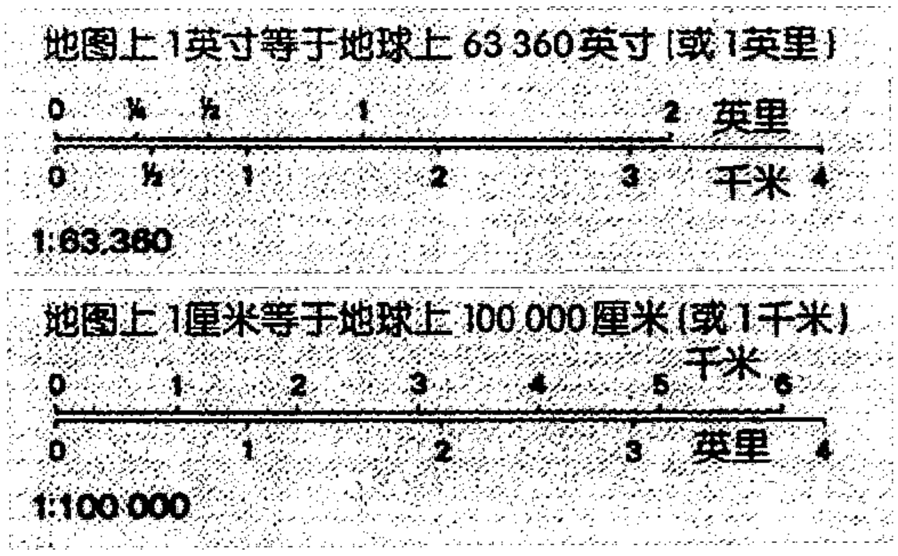
另一种类型地图比例尺是文字比例尺，之所以如此称谓，因为它在地图上用一些文字，例如“16 英里比 1 英寸”或“1 英寸等于 16 英里”来说明。使用这种比例尺时，将地图上两地之间的英寸数乘以比例尺上所标明的英里数即得。

第三种比例尺最适用于米制计量。这就是分数比例尺，它简明地指出缩比。例如，书明“1∶1 000 000”的比例尺指出，地球上两个特征之间的距离为二者在地图上的距离的 100 万倍。指出缩比的一种更常用的方法，就是比率。在比率 1∶1 000 000(读为“1 比 100 万”)中，“1”指地图上的计量单位，“1 000 000”则指地面上相同的计量单位。在本例中，地图上的 1 厘米表示地面上的 100 万厘米或 10 千米。

分数比例尺和比率用于英制计量比用于米制计量难。例如，简单的比率 1∶1 000 000 须转换为一种使用不便的“15.78 英里比 1 英寸”文字比例尺。较简单的文字比例尺“1 英里比 1 英寸”则对应于使用不便的比率 1∶63 360(因为 1 英里为 63 360 英寸)。美国政府的许多地图已印有在米制与英制之间妥协的比率式比例尺。它们包括 1∶62 500(约 1 英寸比 1 英里)和 1∶250 000(约 1 英寸比 4 英里)等比例尺。

地图有时按缩比分类。大比例尺地图的缩比最小，而小比例尺地图的缩比最大。如果 1 英寸代表约 4 英里以下，则该地图一般被认为是大比例尺的。如果 1 英寸代表约 4 到约 16 英里，则该地图一般被认为是中比例尺的。1 英寸代表 16 英里以上的地图一般被认为是小比例尺的。大比例尺地图可表示出大量的细节，好像地球表面的一幅近视图。小比例尺地图仅可表示出小量的细节，好像地球表面的一幅远视图。

没有一种理想的地图比例尺。在任何情况下选择的地图比例尺，都是在两种相互矛盾的目的——尽量多表示出细节和覆盖最大的面积——之间的一种妥协。



地图中绘出的英里数和千米数遵循以上两种地图比例尺。每种比例尺也可用文字和比率来描述。

定位

如果要在地图上定位，则需要采用某些经纬系统或相互正交的直线网络。经纬度坐标系统常用于小比例尺地图，特别是表示出全部或大部分地球的地图中。这种坐标系统通过指定各子午线或南北线与各纬圈或东西线的交点来定位。子午线从北极延伸到南极；纬圈平行着赤道绕地球一周(见：**经度和纬度**)。标准地图集或地图合订本的索引均用经纬度列出成千上万个地方的位置。

精确度较低的另一种定位方法，是将地图划分为类似棋盘方格的方形格网。在这种系统中，各列分别标以“A”、“B”、“C”等等；各行分别标以“1”、“2”、“3”等等(或者与此相反)。例如，如果有一地方在地名表中的位置为“C3”，则说明该地方可在该地图上“C”列和“3”行所共有的区域内某处找到。这种简便的字母数字格子用于几乎所有的道路图中。它用于地图集中时，可标定由经纬线所夹成的区域。

方区-分区格网系统主要用于北美中部和西部的地图中，以进行定位和描述陆地各区域。这些地图中所示出的区域一般划分为称为方区的 6 英里方块和称为分区的 1 英里方块。

还有两种格网常用于行政地图中。它们是覆盖全世界的军事格网系统和美国各州的平面坐标系统。这两种系统的线都是直线，并在地图上形成正方形，与常常逐渐弯曲的经纬线不同。由于地球的曲率被略去不计，这些直线与较常见的南北子午线和东西纬圈并不准确相符。因此，它们具有特殊的“格网北向”，其方向通常与较常见的地理北向和磁北向有些不同。军事格网中的每个方块根据以国际军事格网区为基础的专门法规来确定。

方向

地图通常将地理北向或真北向印在顶端或读者的远

侧。但是，按照这个惯例，有时不方便。在某些情况下，如果非北的方向位于顶端，则绘出的地区会表示得更好并且比例尺更大。因此，总认为"上北下南"，则可能误解。

一张地图的定位可以使得图上所示任何特征的方向与实际特征的方向相同。这种方法称为定向，使地图上的北向与实际世界中的北向成一线。如果在一张地图上示出磁北向，则可通过使它与一个磁罗盘成一线来将该地图定向。在地图定向中不方便之处在于，辨认图上所印地名时，必须偏斜很厉害，甚至于上下颠倒。（参见：**方位**）

在一种与定向相类似的过程中，可将一个地球仪放在与地球相一致的位置。此过程称为校正。地球仪被校正后，它的轴与地球轴相平行，它本身则位于顶端。校正用于研究和演示各种地球-太阳关系。例如，如果将一个校正好的地球仪放在直接阳光下，使其北极正对着地理北极，则在某一瞬间该地球仪与地球本身准确地同样被照射。因此，校正好的地球仪可表示出地球自转时日出和日落的变化阴影线。

地球仪通常安装在它的轴上，并保持在一个圆形或半圆形的子午圈内。该轴与垂线之间倾斜 23.5°，以模拟地球轴相对于地球绕太阳公转轨道所在平面的倾斜度。摇架式安装易于观看地球仪的任何部分，并且是进行校正所必需的。

地图符号

地图有它们自己的专门语言——这种语言向读者传送的信息比地球本身的外观所传送的更多。这就是地图符号语言。虽然航空摄影和航天摄影可获得地球的惊人外貌，但是它们不如地图提供的信息多。

在航空和航天摄影中，各个特征没有命名和验明；丘陵和山谷未全部显露；不熟练的人不易区分某些特征——例如，他可能混淆公路与铁路或者学校与工厂。这些区分可以学习，但是，学习印刷地图中的符号更容易、更快。

确实，现代制图已倾向于使用更抽象的符号来代替图形符号。中世纪和文艺复兴早期的地图使用实际特征——山脉、城堡和教堂、停满船舰的港口——的图画，全都大加夸大其大小，以使它们能被辨识。这种绘画是装饰性的，并易看懂，但是只能生产出杂乱而不精确的地图。随着用符号取代图画，地图逐渐简单化。道路成为一条粗线或两条平行紧靠的细线；一座城市成为一个圆点或小圆圈；一片沼泽成为一簇细线束。此外，普通地图符号仍然常是象形的，或者至少提示出它所代表的地球上的特征。

仍然保留一些体积夸大，特别是在小比例尺地图上。否则，除了最大的特征外，其他符号均不可辨认。例如，一座城市的实际大小不一定与它在地图上的圆圈相对应；河流通常画得宽于比率；道路边界的两条平行线的间距可画得比该地图比例尺所要求的严格距离宽好多倍。这就是为什么一个实际特征的大小，不都能依靠测量它在地图上的符号来确定。

每一种类型的地图有它自己的一套符号。地形图中有表示高度的符号。天气图中有表示降水量和冷锋的符号。道路图中有表示路面类型和各种旅游景点的符号。

各种地图所用符号的种类数互不相同。例如，一种地图可用一种符号代表一切城市，或者可用不同的符号表示不同大小的城市。由于地图比例尺变小，所用符号就不那么详细。这就是为什么道路和河流之类的摆动和转弯在小比例尺地图上被简化。

某种特征或特征类型的符号，在不同的地图上趋于相似。例如，边界一般用某种虚线来表示。铁路常用带点号的细黑线来表示；城市用圆点或小圆圈表示。水体特征常涂蓝色，等高线涂棕色。这些符号的相似称为惯例。一种地图可采用自己的符号，列于其图例中，以补充或代替惯用符号。

地图符号可按照它们的形式分类，有点号、线号和区域符号。点号中有用于建筑、山峰和城镇之类特征的。线号有用于道路、河流和边界等的。区域符号是印刷在地图一部分表面上的一种颜色、阴影或图样。区域符号常用于行政地图中，以区分各个国家、州或省的区域。每种行政单位可涂一种颜色。在大比例尺地图上，一座城市可覆盖很大的空间，因此也可采用一种区域符号来指明它的范围。

鲜明的区域颜色容易遮掩其他符号和地图文字。此外，一幅地图上的不同区域用不同的颜色，也可给人，特别是少年儿童以错误的印象，使他们认为所代表的实际地区是有颜色的。避免这些困难的一种方法，就是只将各条政区边界涂上一细条鲜明的颜色，剩下地图的其余部分无色或呈浅色。一般的自然地图，例如地形图和教学地图集通常采用柔和的"天然"色。蓝色用于水体，陆地表面常用各种色调的绿、黄和棕色，以尽量复制它们的实际外观。可采用有限数量的颜色，通常为黑色或红色进行叠印，来印刷文字和表示边界和构筑物。

地形图

绘于平面上的普通地图适于表示二维平面中的水平距离，而不适于表示垂直距离。但是，地图绘制者想方设法解决了表示三维的办法，称为地形图。

在图形标记时期，在地图上绘出各个丘陵、山和山脉的略图。这就制成一幅杂乱的地图，并未表示出这些山的山麓和山顶的正确水平距离和相互之间的方向。但是，这种称为鼹鼠丘的方法容易看懂。其改进形式今天仍残存于地形略图中，用于自然地理学。

绘出山脉略图的最逼真的方法，就是绘出流痕或者山侧流水所刻蚀的天然径迹。19 世纪，绘制地形图时绘出的线形符号犹如从上往下看一般。这种结果称为影线。影线像流痕一样，从一个山坡的顶端延伸到底部。但是，它们与流痕不同，而是实绘成直线。变换影线的宽度，以表示出坡度的变化，可得出丘陵和山谷侧面自然光线和阴影的幻觉。因此，影线可提供关于陆地表面的逼真印象。

但是，由于需要绘出的影线太多，以至它们像鼹鼠丘图一样，容易使地图显得杂乱。此外，虽然有些高度可通过在关键位置设置高程点来指明，但是它们不能提供其余高度的信息。

在地图上表示出起伏的最好方法，是等高线。它们是将高度相等的各个地方连接起来的线。最初的等高线图未

示出海平面以上的高度，而示出海平面以下的高度。它们绘于18世纪，以示出河流和港口中航道的深度。当时使用这些等高线图的航行者可能对于高潮线和低潮线所揭示出的天然等高线已经知道得很清楚，以致由此推论出可揭示出水面下险滩和礁石的等高线。

等高线以平均海平面(高潮和低潮的平均值)为准。因此，海洋的滨线是零等高线。如果海洋升高10米，则新的滨线将遵循10米的等高线，如果它再升高10米，则该滨线将遵循20米的等高线，依此类推。

如果一条等高线在地图上跨越相当大的区域，则它可能自身会合而形成一条闭合的环线。一个小区域内相互靠近的许多条这种环线，通常表示一座丘陵。一个凹地中相互靠近的各条环线内侧有细影线，以表示它们是等深线。等高线决不断裂为二。惟一相交的等高线见于向外凸的悬崖。等高线决不与静水体的滨线相交。它们与河流正交，其弯曲处指向上游。靠紧的各条等高线表示陡坡。相距甚远的各条等高线表示相对平坦的陆地。

等高线与影线不同，它可使读者估计出一个狭小范围内任何一点的高度。这种范围称为等高间距，是两条相邻等高线之间的垂直距离。为了便于辨认，每个第5条等高线通常印得较重，并注明其高度，它称为指标等高线。美国地图通常采用英尺作为等高线的单位，但是大多数国家的地图以米为单位。等高图如同影线图一样，给出一些高程点，后者常为山顶，湖泊和道路枢纽。

等高线虽然精确，但是其缺点为围绕山坡延伸而不是沿着它上下。只有在少数地方——例如老滨线或者峡谷穿过水平岩层的地区——才能找到天然等高线。

区域符号也用于描绘地形图。有一种方法使用颜色的浓淡表示各种高度范围。海平面以下的陆地通常用暗绿色表示，海平面以上的较低高度用中等绿色。随着高度的增加，依次使用浅绿、黄色和红棕色。最大的高度通常用棕色、红色或白色表示。由于这些着色区域之间的边界或线实际是等高线，分层设色地图或地形图画出来和看起来都很像等高图。1909年国际百万分之一世界地图采用测高法，对于在表示地形方面普及分层设色法贡献很大。

这样使用颜色的主要缺点是，它们常被误解为表示植被而不是高度。虽然许多地区中低的平原通常有绿色的植被，山脉的贫瘠山坡是棕色的，但是对于荒漠地区来说，情况常正相反。荒漠地区的低洼地可能是贫瘠和黄棕色的，而山脉可能是布满森林和绿色的。

等高间距的各种颜色经常变化很大，是分层设色地图的另一缺点。在不同颜色之间的典型突变是1 500米等高线。在美国的地图上，这种颜色突变给人的印象是，落基山脉由此等高线开始。实际上，1 500米等高线通常位于大平原的西部，而山脉通常由更高的高度开始，并且向西远出数百千米。另一个困难是对于递增的高度采用更宽的等高间距，以限制颜色的种类。因此，所有高出海平面3 000米以上的陆地常只用一种颜色表示，并且许多高于此高度的突出和崎岖地形均未表示出来。

晕渲地形图可对某些这种制图问题提供解决办法。它实际上是影线图的一种现代化变形。利用磨匀铅笔着色和喷枪可取得精细的和详细的阴影。面对读者的丘坡和山坡的颜色加深，以产生阴影效果。保持原样的较远山坡则相反地被照亮。晕渲地形图很有说服力，以致应用日益增加，有时单独使用，但是更经常地与等高线和分层着色联合使用。

三维地形模型或称模制地形图，是描绘高度差别更加醒目的一种方法。19世纪末叶，制造出一些地形模型，有时是铸铁的，而更常见的是石膏的。但是，它们的成本、重量或脆性限制了它们的应用。现代的塑料消除了这些困难。现在地图可印刷在塑料板上，然后模压成地形模型。现已制出许多以大比例尺和中比例尺的地形图为基础的这种模制地形图。某些州、国家、大陆和全地球的小比例尺模型也已制出。模制地形地球仪也已生产。模制地形图使得掌握等高线与地形之间的关系变得容易。它们还特别有助于向盲人讲解地理学。

除了非常大的比例尺外，这种模型上的浮雕是特意夸大的。如果垂直比例尺——用于高度的比例尺——与水平比例尺相同，则许多地形的浮雕很难表示。垂直尺寸增大的程度称为垂直扩大。在大面积的小比例尺地形模型中所采用的大的垂直扩大的缺点在于，山脉被严重地变成畸形和过度一般化。

统计制图法

可用数字表示的并且其数量因地而异的任何资料，均可制成地图。这就是统计制图法的基础。点、线和区域符号用于统计地图中。

点描法地图取名于统计地图中所用的常用点符号之一。在点描法地图上，每个小点代表一定数量的实际单位。表示农业和人口分布的点描法地图尤为常见，典型人口图的图例可能指定每个小点代表1 000人。选取这些数值和每个小点的实际数量时，应使人口密度最低的地区颜色很浅，而密度最高的地区颜色很深。

欲在一幅地图上表示出一组以上的数据时，可以分别采用不同的点符号类型。可用小的方块和三角形来代替小点，或者与黑色的小点同时采用红色和蓝色的小点。不宜采用黄色或其他浅色的小点，因为它们不如较深的颜色能形成浓密的印迹。

在各小点代表的单位高度密集的地方，例如人口密度图中的城市可采用其他点符号。在这种情况下通常采用圆圈，所绘圆圈的直径代表人口的多少。这些圆圈与各种点符号并用，可以辨认地图中的某些部分，否则后者就会形成黑色小点密集的一团。常用看上去像球形的带阴影圆圈来表示密集程度。

正如在地图上可绘出等高线来连接相同高度的各个地方一样，在将其他数据制图时也可绘出别种与等高线类似的线。实际上，早在采用等高线以前，在地图上已经采用过与它类似的各种线了。早在1701年，英国科学家E.哈雷就已绘出连接磁偏角相等的各个地方的线。

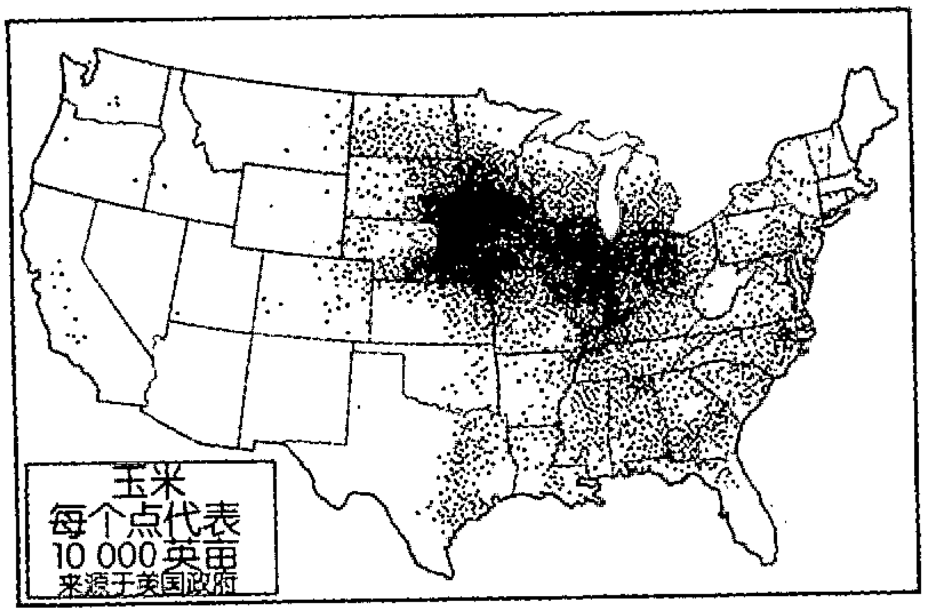
19世纪，科学地图集努力推广应用这种线符号，特别是在表示气候数据方面。等压线、等温线和等雨量线分别表示大气压、温度和降水量的地理分布。所创造的表示数

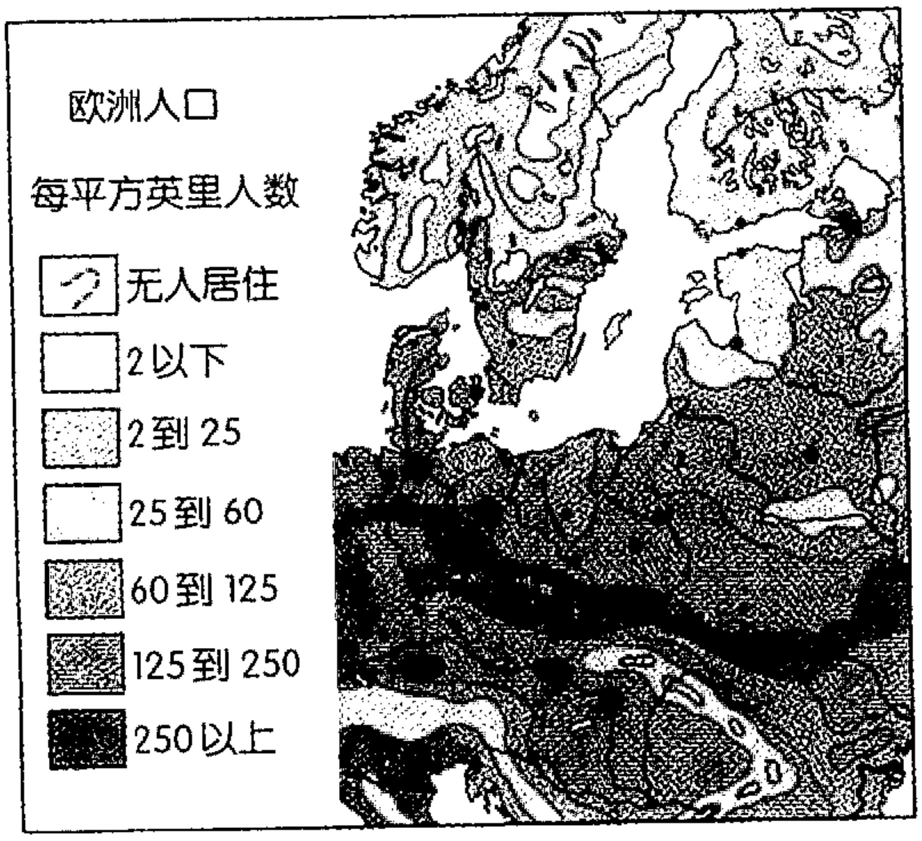
据分布的线符号类型很多，以致人们创造出一个通名——等值线来描述它们。

从不同等值线之间的距离可得出的结论，与从不同等高线之间所得出的结论相似。例如，天气图上的不同等压线相距甚近时，则气象学家称之为气压梯度陡峭。

统计信息通常按行政单位——国家、州、县等——报告。这些数据可用于绘制地图，后者用明显的颜色或图形来表示出这些行政单位所管辖区域的平均情况——例如平均收入或平均人口密度。这些地图称为分区设色地图。

分区设色地图容易制备，因为行政单位的轮廓和必需的统计数据均可取得。但是，采用平均值可能使人产生错误的印象，认为一个行政单位整个区域的条件相同，而在边界处突然变化。但是，明显的变化在一个统计区域内比在边界处更可能发生。例如，美国大平原各州的人口密度就是这样，各州的情况都是东部人口密度较大，而西部人口较稀。这种区别在以州为单位的分区设色地图中就没有。





不同地方之间的数量变化可用小点来表示，例如上图中的美国玉米-英亩产量地图。不同地点之间平均状况的变化可用分层设色表示，例如下图中的欧洲人口密度地图。

但是，采用更多的较小单位，例如县的数据，即可改进分区设色图。通过给每个区域的中心点规定一个平均值，可将根据许多区域的数据所绘制的分区设色地图转变为等值线图。如有必要，可将不同等值线之间的区域加上阴影，与地形图所用的方法类似。

统计地图上所提供的数据常难以形象化。为了使它更容易看懂，设计出一种统计表面。这种统计表面中表现出制图区域内丘陵和山谷状的幻觉。但是，这些"丘陵和山谷"代表数量的变化，而不是高度的变化。因此，在人口密度的统计表面上，城市表现为山脉，城镇表现为丘陵，农业区表现为几乎平坦的平原。

统计图是另一种统计地图。在统计图中，行政单位的相对大小不代表其实际面积，而代表统计数据。因此，虽然印度的面积小于澳大利亚，但是在世界人口分布统计图中所示出的人口稠密的印度，比人口稀少的澳大利亚大得多。

地图投影

如果地球是扁平的，则没有问题可将其表面表示在一张平面的纸上。如果地球是一个圆锥体或圆柱体，则可将它绘于圆锥面或圆柱面上，然后可将后二者剪开和铺展成平面的地图。但是，地球是一个球体，而球面不能展开成平面。

将球面转变为平面，称为投影。用平面代表球面时，总有一些变形——距离、方向和面积的大小或形状的歪曲。有些投影严重歪曲形状和方向，却正确地表示出面积的大小。它们称为等面积或等值投影。其他投影歪曲大小而正确地表示形状和方向。它们称为保形射影。还有一种折衷投影，其中的面积、形状和方向是歪曲的，但是其歪曲是合理地均衡的。任何地图投影的基本目的是将地球的坐标系从地球仪转移到地图上。因此，所有的地图投影同有一个特性——表示实际位置。

所选择的投影取决于具体地图的目的。因为必须牺牲一种性质的精确度来取得另一性质的精确度，所以只能追求最主要性质的精确度。例如，表示统计分布的地图可能采用等积投影，因为在统计地图上正确的形状不如其他特性重要。

但是，航海和测量人员所用的地图必须是保形的，因为在这类地图上正确的形状和方向是重要的，而大小方面的某些歪曲可以容许。用途最广的地图一般是折衷投影。虽然制图学者仍在继续设计新的地图投影，但是，大部分制图要求均可由现在通用的数百种投影法来满足。

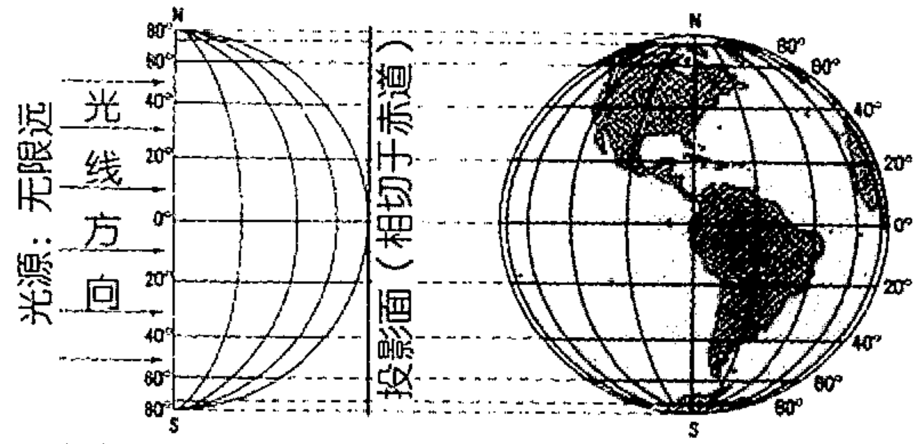
只有有限种类的地图投影是真正的投影——即由光线通过透明的地球仪，将经纬线投射到一个平面或可展开表面，例如圆柱面或圆锥面上而形成的。许多称为投影的作图，实际上是数学结构，或按数学术语称为变换。

地图投影常按地球仪被投射或转移到的表面的类型——圆柱面、圆锥面和平面——来分类。在圆柱投影中，地球仪的表面被转移到圆柱体上。将地球仪沿着一条线——通常是赤道——与圆柱体相接触。这种地图只有沿着这条切线才在各方面是准确的。

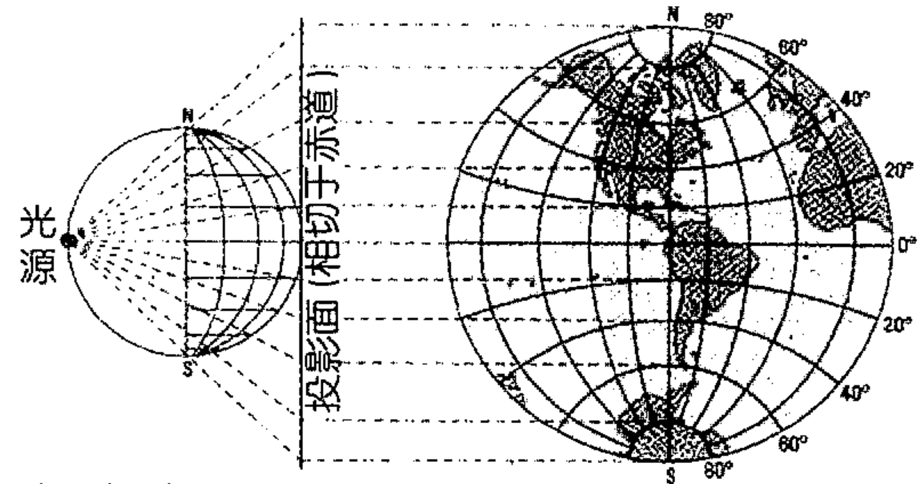
将此圆柱面剪断并展开铺平，则各子午线和纬圈成为

直线并且相互正交。各条子午线总是相互之间等距离的，虽然它们在地球仪上原来相交于两极。各纬圈不一定是相互等距离的。当然，在最知名的圆柱投影——墨卡托投影——中，各纬圈之间的距离随着它们接近两极而增加。墨卡托投影地图保持住形状和方向，因此是保形的。它起初设计用于航海，它上面的任一直线上，沿直线所经之处均指向同一个罗盘方向。

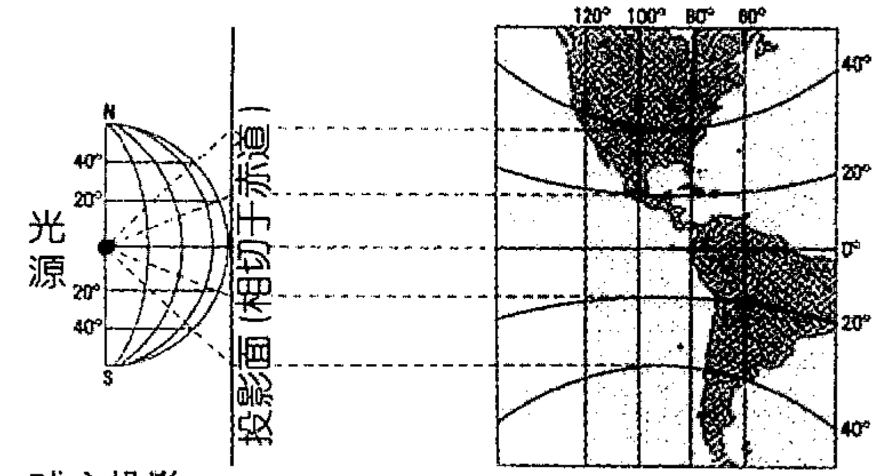
但是，墨卡托投影不是等积投影。通常的墨卡托投影地图——以赤道为中心——在极区的面积显著被夸大。在教室中大量采用墨卡托投影地图，已使人对于各地块的相对大小产生许多错误概念——例如格陵兰大于南美洲的概念，实际上它只有南美洲的八分之一大。



正射投影



赤平投影



球心投影

正射投影（第1图）得出仿佛从太空看到的图像。赤平投影（第2图）用于描绘山脉，因为地球上的圆在这种地图上也表现为圆。球心投影（第3图）用于航行，因为地球上的大圆在这种地图上表现为直线。

在圆锥投影中，将地球仪的表面转移到圆锥体上。通常将锥顶直接置于两极之一上面，并且使圆锥面沿着称为标准纬圈的各条纬线与地球仪相切或相割。这种地图只有在这些纬圈处才是完全准确的。该圆锥面被切断并展平时，这些子午线通常是直线，向两极会聚，这些纬圈是同心圆的弧。

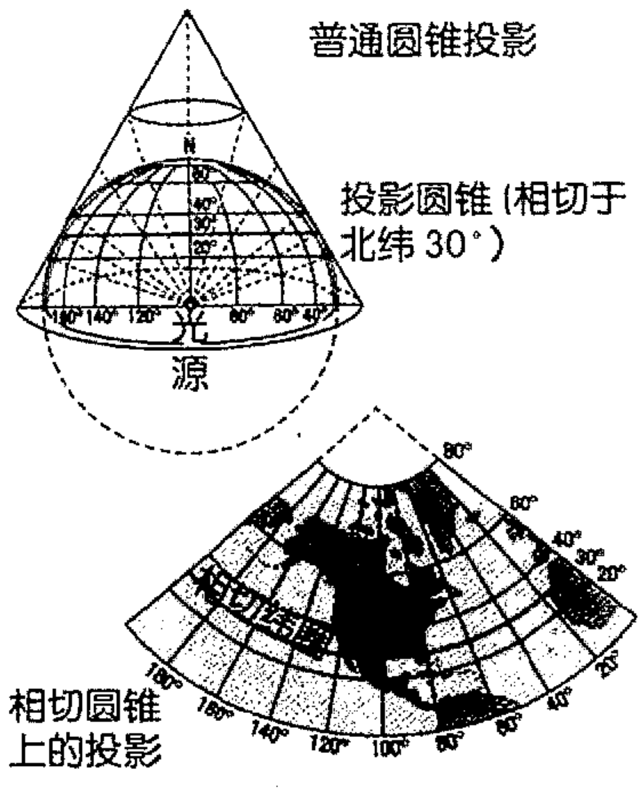
圆锥投影的变形一般不像圆柱投影那样大。因此，假如所示出的地球表面不太大的话，则圆锥投影是一种良好的折衷。它特别用于各州、国家和大陆的地图中。

在圆锥投影中，像在圆柱投影中一样，纬圈之间的距离可以变化。在普通圆锥投影中，纬圈之间的距离相等，面积和形状的歪曲只是轻微的。兰伯特保形圆锥投影中的各纬圈的间距随着接近边缘而逐渐略增，而阿尔伯特圆锥等积投影则与此相反。布恩圆锥投影和多圆锥投影之类的圆锥投影没有直的子午线。

在平面投影或方位投影中，将地球仪的表面转移到与地球仪在一点相切的平面上。如果该切点位于一个极上，则称为极切式方位投影；如果该切点位于赤道上，则称为赤切式；如果该切点位于其他地方，则称为斜切式。一切方位投影地图都表示出由切点起的真实方向。

通过移动投影线的原点，可获得整个一系列方位投影。如果原点位于地球仪中心，则该方位投影称为球心投影。

在极球心投影中，纬圈之间和子午线之间的距离随着接近边缘而逐渐增宽，大小和形状的歪曲较大。但是，球心投影具有一种在航行中有用的性质，它上面的任何两点连成的直线都是一个大圆或是地球上这两点之间的最短距离。



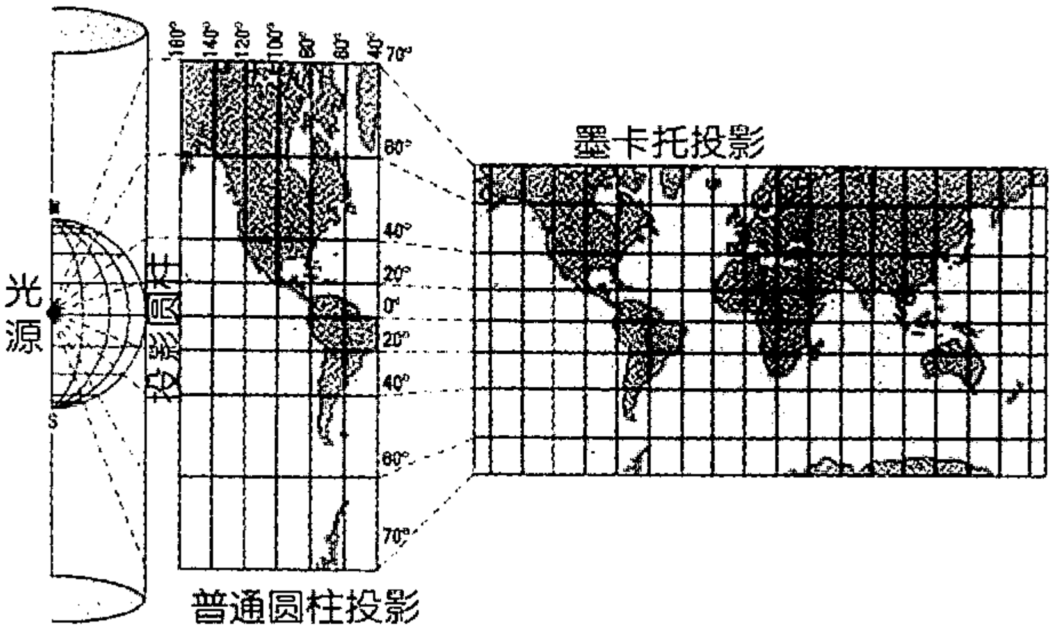
普通圆锥投影用于对切线附近的小区域制图。

如果将投影原点移到地球仪的远侧，则形成赤平投影。在极切式赤平投影中，纬圈的间距不像球心投影中那样远。将投影原点略微移到地球仪以外，则可形成全球投影，其纬圈和子午线均为等间距的。如果投影原点位于无限远处，

则可形成正射投影，近似于地球仪的照片。在极切式正射投影中，纬圈的间距在趋于边缘处逐渐靠近。极切式方位投影常用于表示越过北极的航线，称为“航空时代”地图。这类地图以北极为中心，与大陆沿东西方向伸展的传统概念相反。

有些世界地图与真正投影相差甚远，以致最好认为它们是变形。它们包括等积投影地图、正弦曲线投影、椭圆形或似椭圆形地图，它们的变形最小的区域是沿着赤道和中央子午线处。

这些地图可分解成若干叶片，每个叶片中各有一条中央子午线通过一个主要的地块或海洋。这些断开的投影不仅是等积的，而且各叶片内的形状歪曲得最少。



墨卡托投影——普通圆柱投影的一种变形——用于航行，因为地球上的恒定方向的线在这种地图上表现为直线。

地图史

最古老的现存地图是美索不达米亚在陶土板上制成的地图和古地中海文化时期在马赛克上制成的地图。古希腊和古罗马的著作中提到其他地图，但是它们是绘于易腐烂的羊皮纸或纸上的，并且原文已消失。但是，有些早期地图经过复制和再复制而保存下来。现仍保存的有亚历山德里亚的托勒密所著古地理学教科书的中世纪版本，他生活在公元 2 世纪。托勒密的教科书中载有根据一种圆锥投影和关于位置和纬度的信息而绘制的地图。

中世纪欧洲的地图制图学不如古代进步。中世纪许多地图都是“O 中 T”类型。这种类型的地图都是以一个海洋圆圈为边界，并在中心有一个“T”形水体，将亚洲与欧洲和非洲分开。亚洲在“T”字上方，欧洲在左，非洲在右。上方为东，耶路撒冷和圣地仿佛是从明显的势力中心欧洲望去的。

文艺复兴时期商业的开展伴随着称为波多兰航海图(*portolanos*)的一种实用航海图的出现。它们在 13 世纪首先用于欧洲。它们非常准确地表示出海岸线，并覆盖以表示主要方向的各种线和方位刻度图。实用天文学的改进和三角学的发展带来更好的测量方法和绘出新型地图投影的数学工具。也是在文艺复兴时期兴起的绘画和雕刻，使地图的价格降低和更加普及。

虽然文艺复兴时期的地图优于较早的地图，但是还留下大量问题有待解决。在广大的空白区域内绘出的是假想的大陆和岛屿。已知陆地区域的未勘探的内地覆盖的是想像的细节。边界是用矫饰的美术来装饰的。文艺复兴时期地图的纬度一般准确，但是有些海岸线的变形说明经度不准确。

17 世纪末叶，当新开发的天文学技术用于确定经度时，许多地方的相对位置首次被准确地确定。上述与海洋的不断勘探结合起来，使 18 世纪地图中的海岸线更加准确成为可能。由于 19 世纪陆地勘探的结果，未知的大陆内地被大部分填满，这时出现了包含主题地图的科学地图集。它们对于地球的学究式研究是一个很大的刺激。近来，在地图印刷中采用电动印刷机、平版印刷术和照相制版，已使它们更加低廉、丰富多彩和详细。

20 世纪，通过国际合作已在地图制图包括的范围方面作出许多改进。第一次世界大战前的国际百万分之一世界地图(IMW)是一个最好的例子。政府或私人的出版社完善了许多采用 1∶1 000 000 比例尺和标准的投影和成套符号的 IMW。美国与拉丁美洲各政府之间的一个联合事业泛美大地测量局，20 世纪 60 年代末期也生产出西半球许多地区的准确地图。然而，未对全世界都用大比例尺制出地图，而且即使是广泛应用的小比例尺地图，特别是不发达国家的地图常是不准确的。

许多国家和美国的某些州已出版了高质量的主题地图集。例如，1970 年出版的美国国家地图集包含许多优秀的自然、历史和社会经济地图。

地图制图

科学技术的进步继续对制图技术有重大的影响。例如，航空摄影术和航天摄影术的改进有助于现代地图的精确度。航空摄影测量已降低了精确制图所需的费用和时间，航空照片广泛用于补充大地测量。它们对于遥远和不易达到的测量地区特别有价值。但是，仍在应用传统的陆基三角法来进行许多测量(见：**测量**)。在地形图制图中使用成对的航空照片。这两幅照片顺序拍摄，并且用特殊的体视镜观看，可产生三维影像，由此可描绘出等高线。

航天摄影术可以一眼看到地球表面的广大区域。这就有助于避免制图误差，后者在大地测量和航空摄影测量的覆盖面不适当时可能出现。从航天卫星上拍摄的地球云量

照片已可改进天气图。从航天卫星上观测，可使地球表面上的各地点定位更精确。月球和火星的航天照片已大量增加了它们的地面地图上可示出的细节。

现在在地图生产中采用了电子设备。计算机的程序可设计得用于描绘边界和海岸线，复制地图投影和生产各种统计地图。场绘迹器是最新制图仪器之一，利用电流通过导电纸在等值线地图上描绘出统计梯度率。

许多新制图法，特别是小比例尺制图法不依靠新近的测量结果。这些制图法包括收集和编辑数据，并设计将这些数据加在现有轮廓图或底图上的技术。然后将汇编的数据交给实际绘制地图的设计人和绘图员。

直到最近，地图上的各种线一般都是用墨水绘在纸之类的材料上，然后将完成的图画交给雕刻工。最早的雕刻用尖锐的刻刀在铜版上进行。然后将雕刻好的影像利用其凹处涂上的油墨进行印刷。在现代的照相凸版印刷中，先拍摄原型地图，然后利用底片将特制的金属板转变为印刷版。

许多专业的地图制图社已用第二次世界大战后问世的一种称为划线法的新法代替上油墨法。绘图员在一张涂有一层橙红色薄膜的透明塑料板上进行作业。他用一只刻刀或划线器刮掉一部分涂层，即绘出原型地图。由于只有划出的线可透光线，结果制得照相制版所用的底片。划线法不仅省去传统照相制版过程中的一个步骤，而且可以更精细地控制线的宽度。

一幅黑白地图可用一块印版印刷出来。彩色地图则要用若干块印版进行套印。在地图精细分色中，例如描绘植被的地图，将印刷三原色——品红、青和黄——加以混合以得到全色域的色彩。(见：颜色)

绘制地球仪要求专门的技术。在最普通的方法中，在一张纸上印出全世界的断开的地图投影(分成若干称为地球仪断面的南北向小条)。将这些地球仪断面湿润后顺序粘贴在一个球形外壳上，即可伸展并铺平而形成一个球形面。每个半球分别制作，然后将两个半球扣在一起，以形成整个地球仪。硬纸板和塑料是优于金属的外壳材料，因为它们较轻而柔韧。已设计出更易携带的塑料或橡胶制成的可充气地球仪。

通常在地理学、地质学或工程等系中开设地图制图学大学课程。这些课程注重制图理论。地图绘图和地图复制等课程一般在职业学校中开设。

地图制图理论包括制图史、各种不同类型地图的阐明、航空摄影、地图设计和测量的数学原理、地图投影和统计图像。政府机构一般雇用在地理学、航空摄影、自然科学、数学和统计学等有关领域内都有丰富经历的地图制图学者。

地图来源

不论是为了特殊用途，还是建立图书馆，均容易廉价购得地图。小比例尺地图有各种各样的来源。比例尺通常为1:500 000到1:1 500 000的石油公司道路图，在大多数天然气站都可以买到。有些石油公司道路图只在主要道路和城镇以外表示出很少内容，但是另一些则表示出各种重要地点，并可能采用晕渲地形底图。州政府和省政府发行的道路图可能包括附加的细节，例如铁路线等。全国地理学会等民间机构出版了世界各地区的详细地图，中学和大学的地图集包括小比例尺、全色主题地图。

在中比例尺和大比例尺地形图中，美国地质调查局和加拿大能源矿产和资源部是最好的来源。它们提供了它们本国的比例尺为1:250 000的全覆盖面地图。它们还提供了较大比例尺(美国的1:62 500、1:48 000和1:24 000；加拿大的1:50 000和1:25 000)的大覆盖面地图。这些政府地图的批发商店是地方文具店和运动用品商店。

大比例尺地图还可由城乡的测量局、商会、运输公司、印刷和出版公司发行。它们包括道路图、街道图和重要地点图。此外还有关于土地所有权的官方地图集，称为土地图册。珍稀和昂贵古代地图的复制品可在经营图书和艺术品的商店中购买。

撰文：William M. McKinney

地球仪 GLOBE 见：地图和地球仪

纬度和经度 LATITUDE AND LONGITUDE

用于确定地面上任何地方的位置的一种系统。通常称为坐标系，由两组相交的线构成。其中一组线——纬线——为东西走向。另一组线——经线——为南北走向。虽然它们只是围绕地球的假想线，但是它们在地球仪和地图上可绘成实际存在的样子。

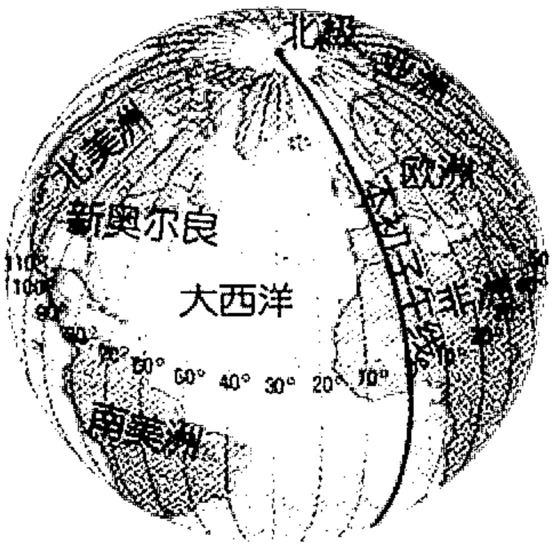
地球坐标的绘制

绘制地球仪或地图上坐标系中的经纬线时，必须有一个始点，或称基准点。地球有两个这样的基准点。它们是北极和南极。此两极是地轴与地面相交的两点。两极的中间是一条东西线，称为赤道。赤道围绕地球一周并将它划分为两个等份，或称半球。北极位于赤道以北的半球——北半球。南极位于赤道以南的半球——南半球。

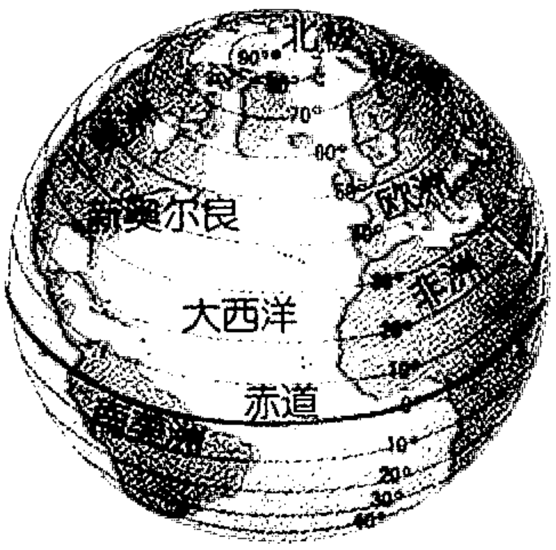
地球坐标系中的一组平行于赤道的线，围绕着地球仪绘制。这就是东西线，或称纬线。在基本坐标中，赤道以北和以南各有89条这种等距线。第90条东西线是两个点——北极和南极。每条东西线是一个圆。离赤道越远，其长度越短。例如，第60条东西线仅有赤道的一半长。

东西线的编号从赤道——东西向的基线——为0开始，到两极附近的89为止。赤道与北极之间的各条东西线称北纬；赤道与南极之间的各条东西线称南纬。路易斯安那州新奥尔良城位于北纬第30条东西线上。但是，世界上有许多其他地方也位于这条线上。因此需要第二组线来确定新奥尔良——或其他地方——的确切位置。

地球坐标系的第二组线从北极到南极绘出。它们是南北线，或称经线。国际上已一致选取一条南北线作为0或基线。它经过英国伦敦的一个自治城市格林尼治。在基本坐标中，格林尼治基线以东和以西各有180条这样的等距线。所有的南北线均等长，与东西线不同。



有关经线的事实
- 又称子午线。
- 为南北走向。
- 测定本初子午线以东或以西的距离。
- 在赤道上相距最远，相交于两极。
- 与赤道正交。
- 位于通过地轴的平面内。
- 各条经线长度相等。
- 是大圆的一半。



有关纬线的事实
- 又称纬圈。
- 为东西走向。
- 测定赤道以北或以南的距离。
- 相互平行，永不相交。
- 与本初子午线正交。
- 位于与地轴正交的平面内。
- 趋向两极逐渐缩短，只有最长者赤道是大圆。



地球坐标系

只有路易斯安那州新奥尔良城位于赤道以北第30条东西线与本初子午线以西的第90条南北线相交处。
- 纬线与经线正交。
- 虽然地球仪和地图上仅示出少数经线和纬线，但是其数量无限。

南北线的编号从南北基线为0起，分别向东、西到第180条南北线止。0线和第180条线共同形成类似赤道的整圆，将地球切为两个半球。零线西面的一半可称为西半球；零线东面的一半可称为东半球。

各南北线和东西线共同形成地球坐标系，用于确定地球上任何地方的确切位置。新奥尔良位于赤道以北第30条东西线上，也位于南北基线以西的第90条南北线上。世界上有许多地方——其中有田纳西州孟菲斯、伊利诺伊州东圣路易斯和厄瓜多尔的加拉帕戈斯群岛——位于或接近与新奥尔良相同的南北线上。有许多其他地方——例如得克萨斯州阿瑟港、佛罗里达州圣奥古斯丁和埃及开罗——位于或接近与新奥尔良相同的东西线上。但是，只有新奥尔良位于这两条线上——正在它们相交处。类此，世界上每个地方——只有这个地方——位于一定的东西线与一定的南北线的交点。

纬圈和子午线

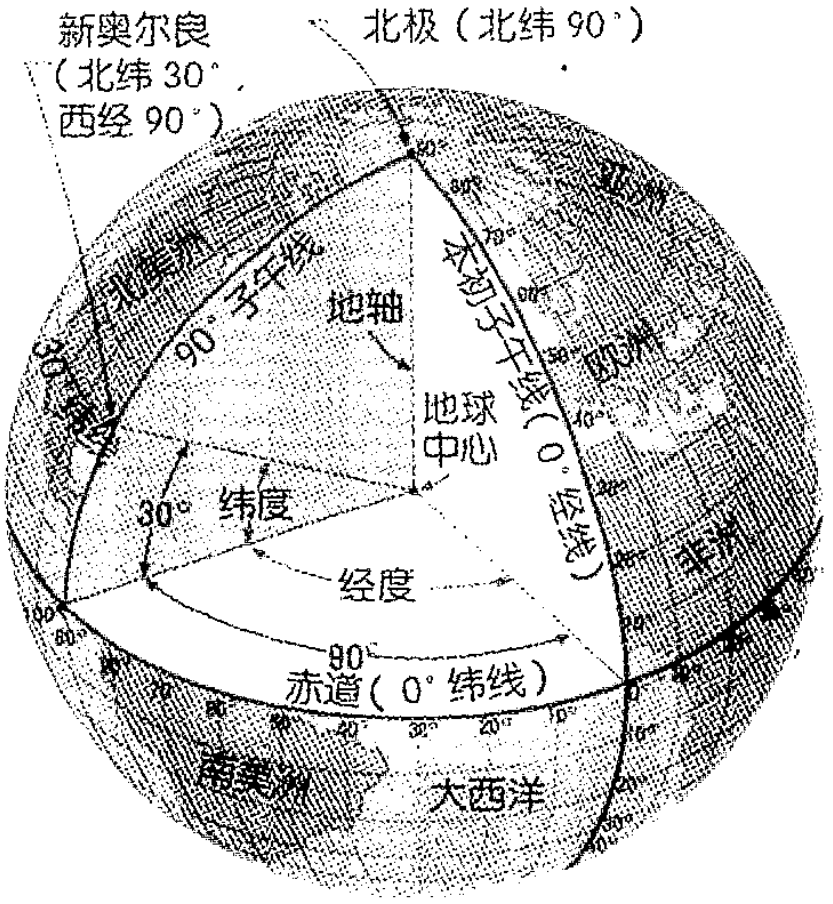
所有的东西线都是相互等距的。这就是说，它们全都平行于赤道，并且相互平行。因此，某一东西线上的每一点都是距赤道等远，距北极等远，距南极等远。因此，东西线或纬线通常称为纬度平行线或简称纬圈。

南北线或经线也有别名。它们通常称为经度子午线，或简称子午线。零子午线或南北线编号的基线称为本初子午线。

每条子午线仅绕地球半周——从极到极。每条各在地球的另一侧有一条与它成对的线。所有各对这样的子午线分别形成将地球切成两个半球的圆。这些圆称为大圆。只有一个纬圈即赤道是个大圆。

角距的计量

地球的局部剖视图示出纬度是如何确定的。它说明纬度是赤道平面与从地球中心投射出的直线之间的夹角。例如，从位于第30条纬线上的新奥尔良向地球中心绘出的直线，与在赤道平面上绘出的直线之间的夹角是30度(30°)。在每个半球中，第30条纬线连接凡是向地球中心投射的直线与赤道平面形成30°角的各点。



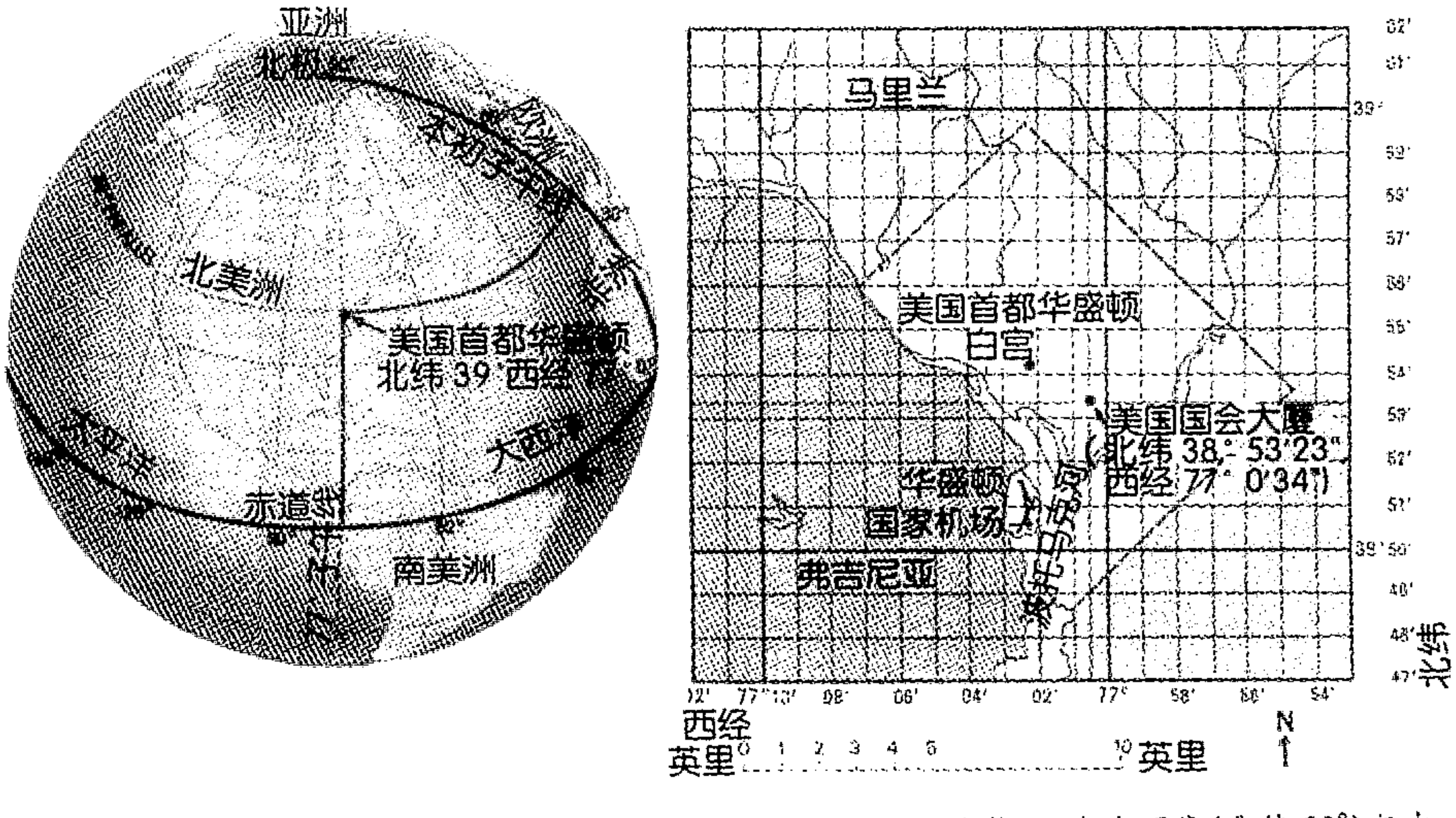
本局部剖面图示出，任何地方的经纬度都是依据以地球中心为原点的两个角度的大小。对于新奥尔良来说，此二角为30°(北纬)和90°(西经)。

赤道的纬度是零度(0°)。赤道以北和以南的各条纬线编号到90°为止，因为从赤道到每个极的角距是一个圆的$\frac{1}{4}$，或360°的$\frac{1}{4}$。没有大于90°的纬度。北极位于北纬90°，或简书为90°N.。南极位于南纬90°，或简书为90°S.。

地球的局部剖视图还示出经度是如何确定的。可以看出，经度是两个子午圈平面之间的夹角，其中一个子午圈是本初子午线。例如，第90条经线平面与本初子午线平面之间形成90°角。因此，本初子午线以西所有位于第90条经线上的地方都是西经90°。

本初子午线定为零度(0°)经线。本初子午线以东的经线编号从东经0°到180°；以西的为从西经0°到180°。没有大于180°的经度，第180条东子午线与第180条西子午线是同一条线。

经度和纬度可分为60分，或称分(′)。地球上的任何位置可描述为位于赤道以北或以南纬度多少度多少分和本初子午线以东或以西经度多少度多少分。例如，美国首都华盛顿的美国国会大厦位于北纬38度53分(38°53′N.)和西经77度0分(77°0′W.)。需要一个地方位置的更精确信息时，例如对于航行者、测量员、领航员或地图绘制员来说，则经度和纬度的分可分为$\frac{1}{60}$，或称秒(″)。



如小比例尺地球仪的透视图所示，美国首都华盛顿位于赤道以北第39条东西线(北纬39°)与本初子午线以西第77条南北线(西经77°)交叉处。大比例尺地图为其中某些重要的具体地方准确定位。例如，美国国会大厦的圆顶位于北纬38度53分23秒和西经77度0分34秒(38°53′23″N.，77°0′34″W.)

纬度易于换算为千米。由于地球的周长约为40 225千米，纬度的一度约为 112 千米(40 225 千米的$\frac{1}{360}$)。不同的纬度在长度上差异不大——最短的纬度与最长的纬度之间的差异不到 1.6 千米——因为地球不是一个完全球形，而在趋近两极处略微变平，在赤道附近略微膨大。(见：**地球**)。但是，经度的一度其长度却从赤道的 111.3 千米变到两极的零，即各子午线会合于两极。

确定经纬度

船舶或飞机的驾驶员可利用一种称为六分仪的仪器来确定他的位置。他用它测量太阳经过他所处的子午线(经度)时的高度(与地平线的夹角)。

经度长度和纬度长度的变化(单位：千米)

纬度	纬度 1°的长度	经度 1°的长度	纬度	纬度 1°的长度	经度 1°的长度
0°	110.54	111.30	50°	111.21	71.68
5°	110.55	110.88	55°	111.31	63.99
10°	110.59	109.62	60°	111.39	55.78
15°	110.62	107.53	65°	111.47	47.18
20°	110.68	104.63	70°	111.54	38.18
25°	110.75	100.43	75°	111.60	28.90
30°	110.83	96.48	80°	111.65	19.39
35°	110.92	91.28	85°	111.67	9.75
40°	111.01	85.37	90°	111.68	0.00
45°	111.10	78.84			

然后他将观测的高度与天文年鉴——登载太阳和恒星运行数据的书——中的信息相对照，即算出他所位的纬度。与此类似，夜间可观察恒星找出纬度。

经度的确定比纬度难，因为用六分仪和天文年鉴不能得出充分的信息。驾驶员为了计算他所位的经度，必须还知道他观察时的精确时间。需要知道时间的原因在于，太阳和恒星看起来是在天空中移动的，在每天的某个时间，在一定纬度的所有地方，天象都相同。

文艺复兴时期，钟表的发明是迈向可靠地计算经度的第一步。但是，当时的钟表太不精确，以致不能应用于航行。1714 年英国经度局悬赏巨额奖金，给予能够制造出可在长期航海过程中符合一定精度标准的钟表的人。到了 1735 年，英国一个钟表制造者 J. 哈里森呈送了他的若干钟表中的第一种，他的最后一种赢得该奖。这种钟表称为精密时计。1766 年法国人 P. 勒鲁瓦造出比哈里森更精确的精密时计。从此以后，海员们已能通过将当地时间与格林尼治平均时(GMT)进行比较来确定经度。(参见：**时间**)

船用精密时计设计为指示出 GMT。由于地球自转的速度和方向的原因，某一地方的当地时间在本初子午线以西每 15 度比 GMT 慢 1 小时，而在本初子午线以东则每 15 度比 GMT 快 1 小时。例如，如有一艘船的精密时计读数为 0300(上午 3:00)，当地时间是 0800(上午 8:00)，则该船位于格林尼治以东 75 度，或东经 75°。航行者可利用特殊的无线电时号来核对其精密时计的准确度。

如何选择本初子午线

在统一本初子午线前，各国的地图绘制者通常开始将其地图上的各条经线根据通过其国家天文台所在地的子午线来编号。例如，在美国就是美国首都华盛顿的海军天文台；在法国就是巴黎天文台；在英国就是格林尼治的皇家格林尼治天文台。

因为英国在探险和地图绘制方面居于世界领先地位，所以其他国家的航行者常使用英国绘制的地图。结果，1884 年格林尼治子午线被几乎全世界采纳为本初子午线。20 世纪 50 年代，皇家格林尼治天文台向格林尼治东南移动约 96.5 千米。但是，格林尼治子午线仍保持为本初子午线。

选择格林尼治子午线作为经度 0°，还有另一理由。旅行者经过第 180 条子午线时必须变更时间(见：**时间**)。如果此子午线经过一个大国，则难以计时和确定日历的日期。但是，如果将格林尼治子午线定为零度，则第 180 条子午线接近太平洋中心。它只经过东北亚的一小片陆地区域，分隔太平洋中的一些岛屿。

为了避免这些地区中的日期不同，世界各国确定了一条特殊的线，经过它时就变更日期。它在必要时稍微绕离第 180 条子午线。这条线称为国际日界线。(见：**国际日界线**)

特殊经线和纬线

有些纬线具有特殊意义。其中之一就是赤道。另有两条特殊纬线是第 30 个纬圈。二者之间地跨赤道两旁的区域通常称为低纬度。低纬度一般是温暖的陆地。两个第 60 个纬圈也是特殊纬线。

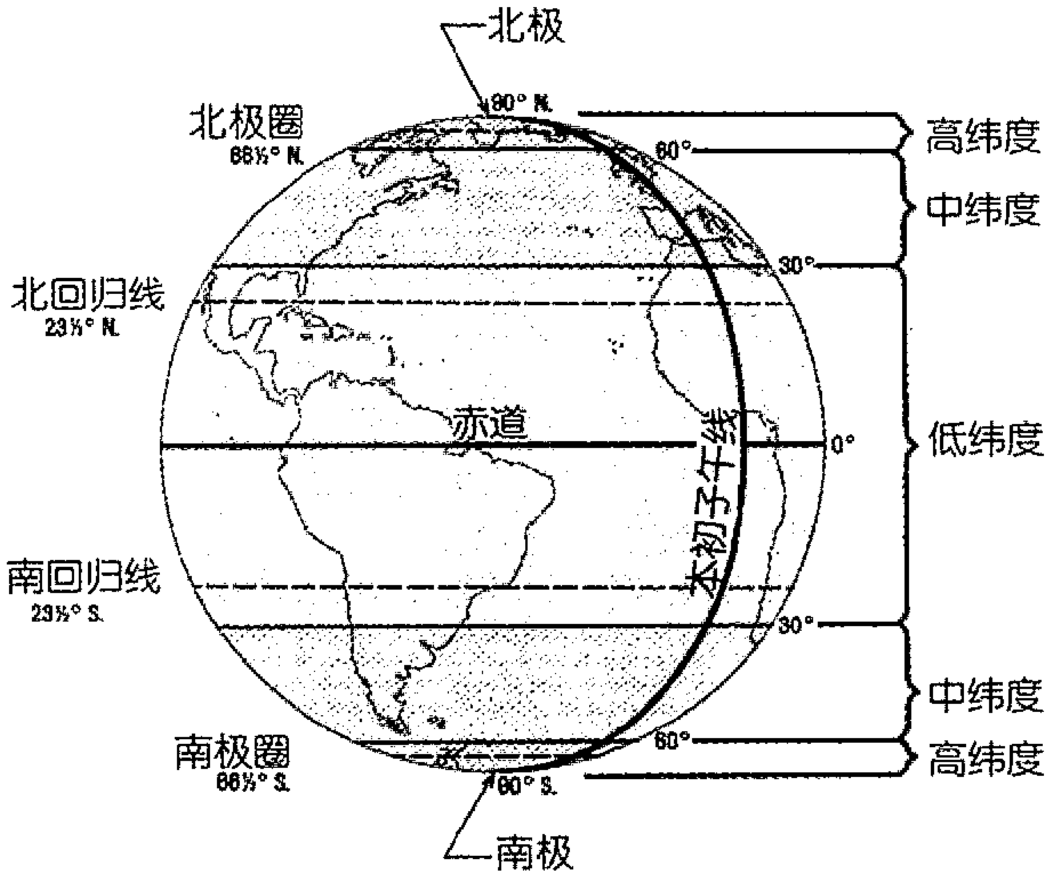
在第 60 个纬圈南北的地区，以南极和北极为中心，通常称为高纬度。高纬度一般是寒冷的陆地。

两个半球中介乎第 30 和第 60 条纬线之间的地区通常称为中纬度。一般说，中纬度陆地有四季——春、夏、秋、冬。(见：**季节**)

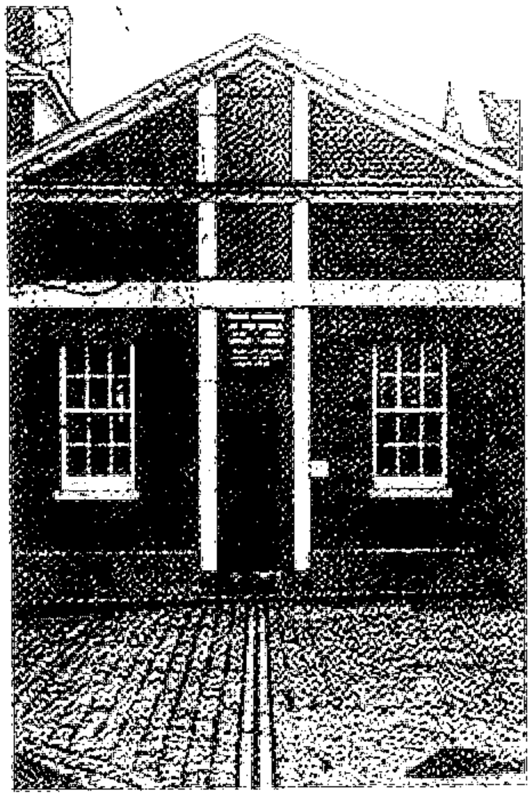
一个地方的纬度相应地是当地气候的线索。年平均日射或由太阳接受的热能，大部分取决于太阳射线的角度或倾斜。此角度随着距赤道的距离而变(纬度)。南面和北面的高纬度区，得到日射较少，因此总是比低纬度区冷。(见：**气候**)

其他 4 种特殊纬线是北回归线 (23°30′N.)、南回归线 (23°30′S.)、北极圈(66°30′N.)和南极圈(66°30′S.)。这些线和地球的自转轴对地球的公转面的倾斜有关。北回归线和南回归线标志着太阳在一年之中某些时候看起来正在头顶的赤道两侧区域的界限。北极圈和南极圈标志着太阳在一年中某些时候连续 24 小时或更久不升不落的区域界限。

经线的惟一特殊线是本初子午线。时区界限和国际日期变更线均依据一定的经线，但是并不准确地遵循它们。(参见：**方位**；**地图和地球仪**)



撰文：Clyde Kohn



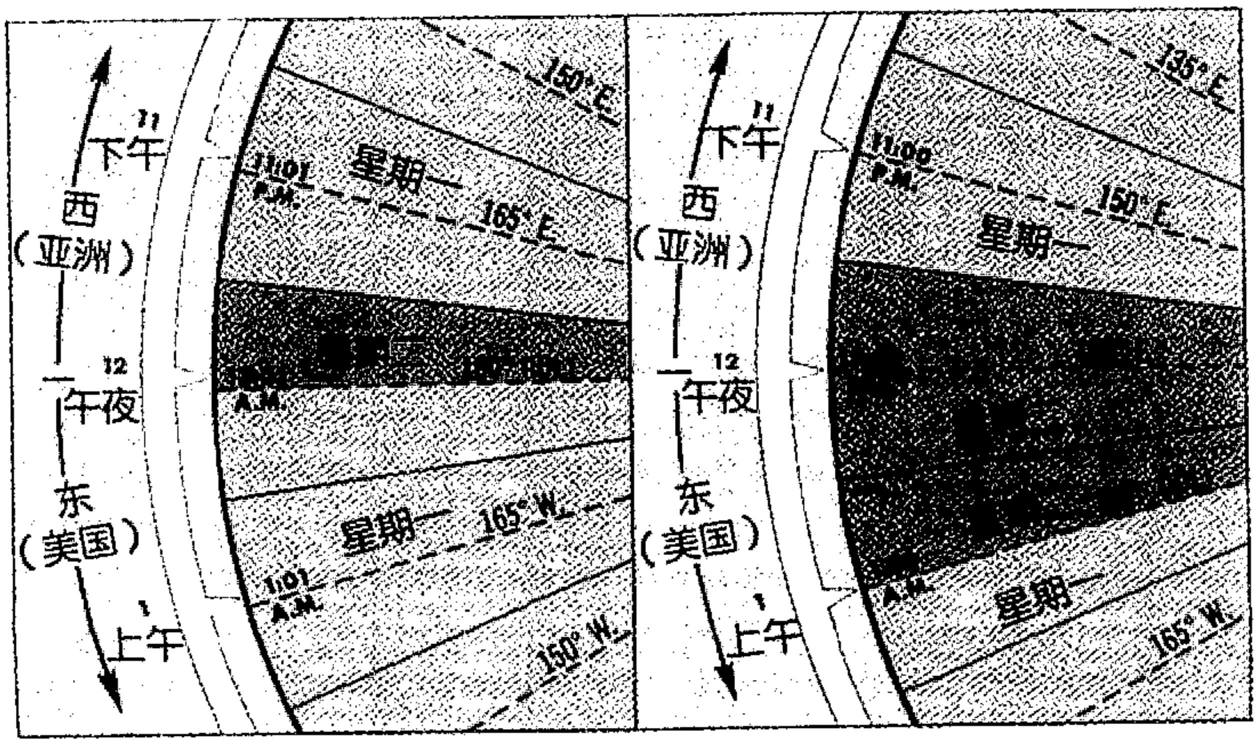
本初子午线经过英格兰格林尼治处用一条特殊的饰板标示出来。

国际日界线 INTERNATIONAL DATE LINE

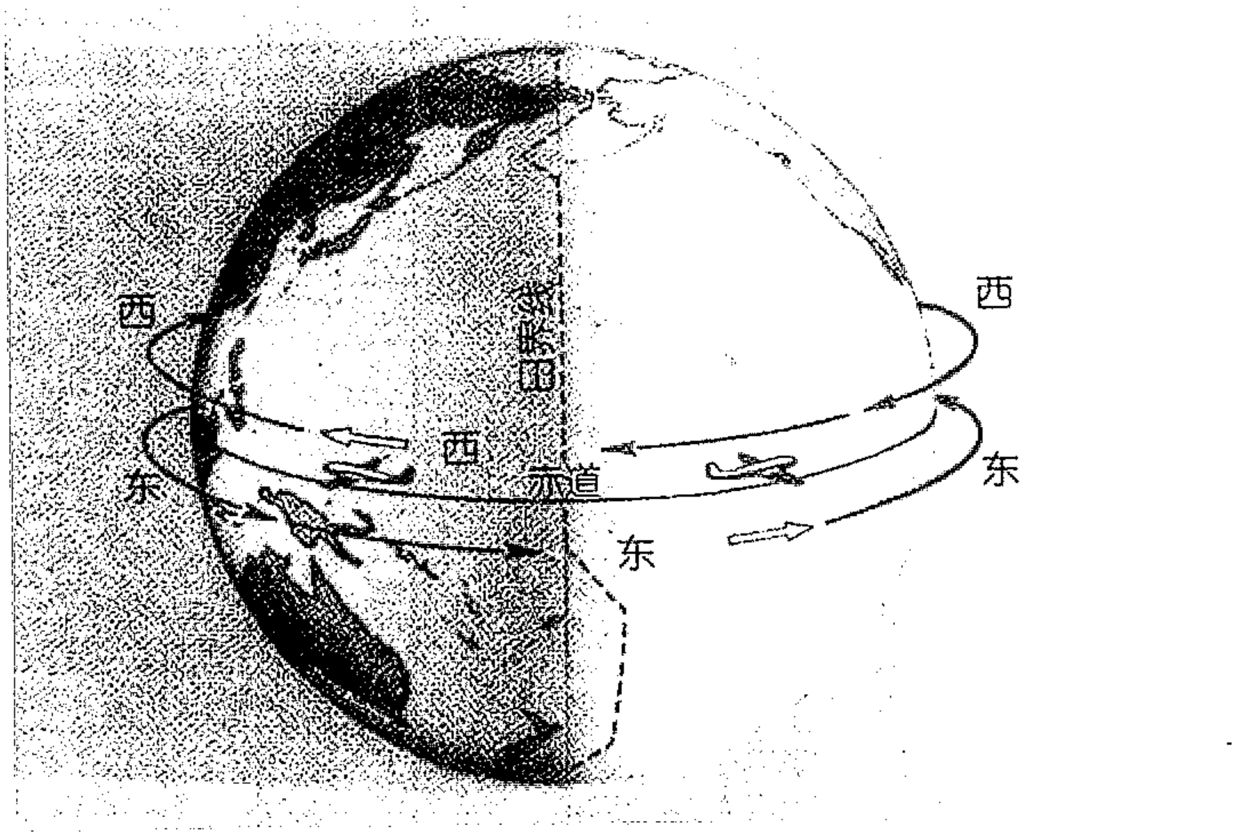
如果飞机向东或向西环球飞行一周，乘客在回来时，发现他们多了一天或少了一天。即使乘客只横跨太平洋，他们在航行中也得到或失去一天。

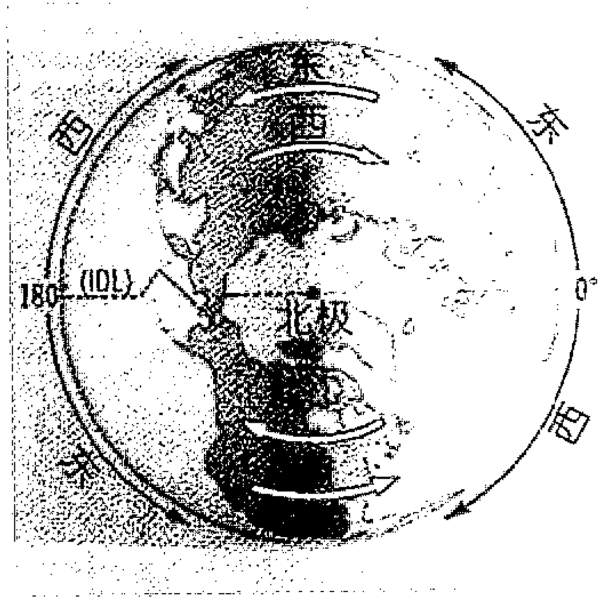
为了解事情真相，设想旅行者从美国横跨太平洋到亚洲，当他们在星期二下午越过海洋一半时突然变为星期三。他们"失去"了星期二剩余的时间和星期三的部分时间，或者总共失去一天。

现在假设另一些旅行者在同一时间由相反方向横跨太平洋，那天是星期三，但在越过海洋约一半时变成星期二。他们在日历上"得到"了一天。



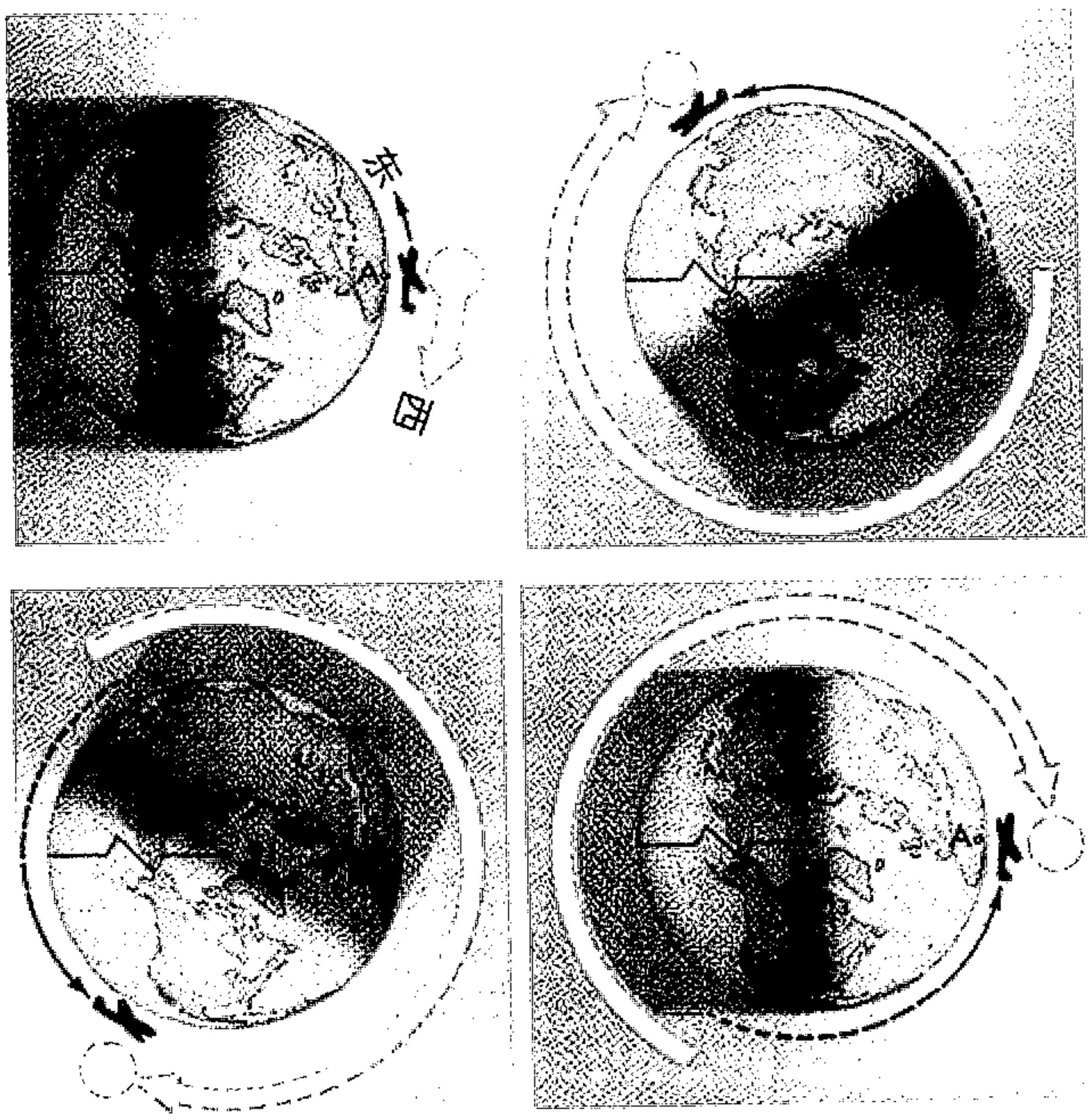
每个新的历日在第 180 条子午线或国际日界线开始。从此表可看出地球划分成时区，沿着固定的时间标度向东移动，当第 180 条子午线(与经度 0°的本初子午线为一对子午线)位于午夜位置时，新的一天开始，但只是时区的西半部。在 60 分钟后，自转将 165°E. 时区一直带到午夜位置，新的一天在那里又重新开始。这种一小时又一小时直到日界线重新在午夜位置，然后那里新的一天又开始了。





太阳光的方向

当旅行者环球旅行经过太平洋时，他们在国际日界线(IDL)处得到或失去一天。为帮助了解事情真相，观察者可设想观看飞机沿赤道飞行(左图)。也能以极点为着眼点观看绕地球飞行的方向(右图)。向西是顺时针；向东是逆时针。



飞机向东作环球飞行能得到1个历日。飞机在正午从A点(左上图)出发，以每小时800千米速度不停运行，太阳从同一点向西移动，虽然它们以相反方向运行，飞机和太阳将在地球的更远一侧相遇(它们的速度的相加可确定相遇的地点)。太阳移动的速度比飞机约快1倍，约在16小时后经过飞机(右上图)。飞机在这段时间内约走了环球路程的$\frac{1}{3}$，而太阳走$\frac{2}{3}$。在这个时刻，飞机上的乘客再次遇见正午，而从他们的手表上看1天只过去16小时。在另一个16小时，飞机在飞行$\frac{2}{3}$的环球路程时又与太阳相遇(左下图)。对旅行者来说，以正午太阳到正午太阳计算已过了2天，而从他们的手表上看只过了32小时。在另一个16小时或出发后48小时，飞机飞完全部航程(右下图)，从正午太阳到正午太阳，旅客已过了3天，而实际飞行只用了2个历日(48小时)，这样旅行者在向东旅行时得到了1天。







1. 飞机向西作环球飞行能失去1天，飞机在星期二中午在A点开始飞行，飞行速度是每小时800千米。
2. 1天(24小时)后，地球已绕地轴自转一次，A点人们是星期三中午，但飞机上的旅客只走了环球路程的一半，时间是午夜，只过了半天。
3. 24小时后，A点是星期四中午，飞机飞完全部航程。对留在A点的人们已过了2天，但旅行者以日夜或正午到正午表示只过了1天。他们失去了1天。

由于旅行的影响，在计算日子时需要作这种得或失的调整。一个整天(日历上的日子)是指从一个午夜到第二个午夜。在这段时间，地球随地轴向东转一周，而太阳和星好像向西转动。(见：**天文学**)

当人们短距离旅行时，他们的日子随24小时间隔改变。但是如果他们向西旅行，太阳通常的表观运动不能快到"超过他们"，新日子的到来需要更多的时间，对环球旅行来说，落后了一整天。

在地球围绕太阳旋转同时，当人们向东旅行，他们离开太阳的速度比站在原地的要快，因此午夜和新日子的到来要比在家中快。环球旅行的旅行者将得到一个整天。

到某处旅行，向西行的旅行者应将日期减去一天，以赶上与日历相符。另一方面，向东行的旅行者必须将同一天用两次以与日历相符。习惯在横跨太平洋中途的点上作这种调整。

这种改变的"日标"在经度的第180条子午线(见：**纬度和经度**)。这条经线与0°处的本初子午线形成一对子午线，第180条子午线叫国际日界线。可是，为防止将群岛隔开，使所有岛民使用同一日期，这条线在某些地方向东或向西偏离子午线。

具体说：在经过白令海峡时向东偏以免将西伯利亚分开，然后向西偏以便把阿留申群岛包括在阿拉斯加州。在赤道以南，另一个向东偏以便使某些群岛与新西兰用相同的日期。

这种日界线帮助世界各地正确遵守日子，明确规定在任何地方午夜是"诞生"新一天的方法。为方便记时，现代国家将地球的标准时间分成24个南-北时区(见：**时间**)。用这个系统，当时区的中心子午线的时间是午夜时就诞生新的日子，因此每个小时都有一个时区诞生新的日子。

如果不这样做，没人能告诉你世界的日子从何处开始。选择第180条子午线为开始将这个问题简单地解决了。新日子只从这个时区的西边一半开始，所以旅行者在经过时区中心子午线时要改变日期。

方位 DIRECTIONS

动物有一种惊人的方位感觉。猫和狗不用教它都会找到回家的路。鸟类从过冬的地方千里迢迢飞回夏季的家，不会迷失路途。有些鸟甚至会回到它们前一年筑巢的那片草地或者那株树上。太平洋大麻哈鱼越过大洋游回它们出生的那条河里产卵。连蚂蚁也认识路。如果你捡起一只蚂蚁，给它挪个地方再放下，它会掉过头去找到回去的路。科学家至今还不能解释动物这种卓越的方位感觉的奥秘。

人是一切生物中最伟大的旅行者，但是人却很容易迷路。把孩子的眼睛蒙起来，他甚至不能笔直地从屋子这一头走到那一头去给画上的驴子加个尾巴。这也说明为什么人们在茂密的丛林中或者在耀眼的暴风雪中会迷失方向。试验表明，当人们无法看见的时候，他们绕着圈子打转。看来这是因为人体两边的重量不一样，或者肌肉的力量不一样的缘故。

说一个人的方位感觉良好，是说他留心而且又能记住他经过的地方的事物，街道上一个个转弯和建筑物里的一条条走廊他都心里有数。如果他原路回转，这将对他大有帮助。要是他不走原路，那他将需要行路指南帮他找路。

方位用语

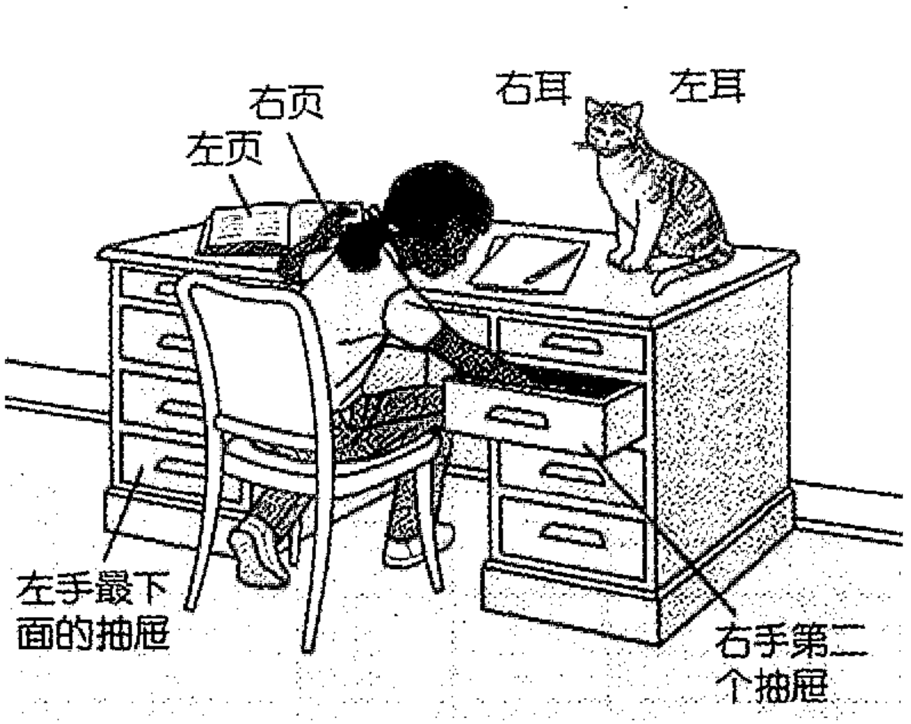
人们幸运地有地图和罗盘帮助他们确定方位；天空晴朗的时候，太阳和星星也能帮助他们。为了学会使用这些工具，他们需要知道方位用语中一些词的确切含义。

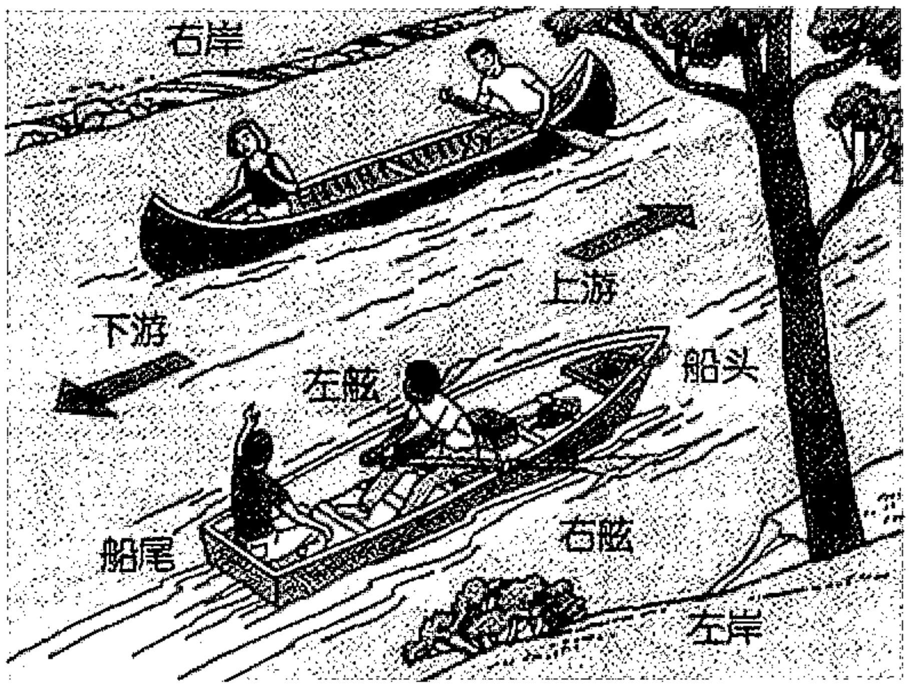
有些方位词是与身体有关的。这样的词有"前"、"后"、"左"、"右"。还有些词与地球有关。例如"上"、"下"、"东"、"南"、"西"、"北"。

左右

左和右是人的身体两边的名称。人们按照他们感觉的不同区别对待自己的左和右。如果有的人习惯使用右手，

右手的能力就大些，用来做多数需要技巧的工作。有的人习惯用左手，宁愿用左手做技巧工作。少数人则似乎两只手做事都顺手。即便是左右两手都能运用自如的人，通常也选定其中一只手写字或者投球。

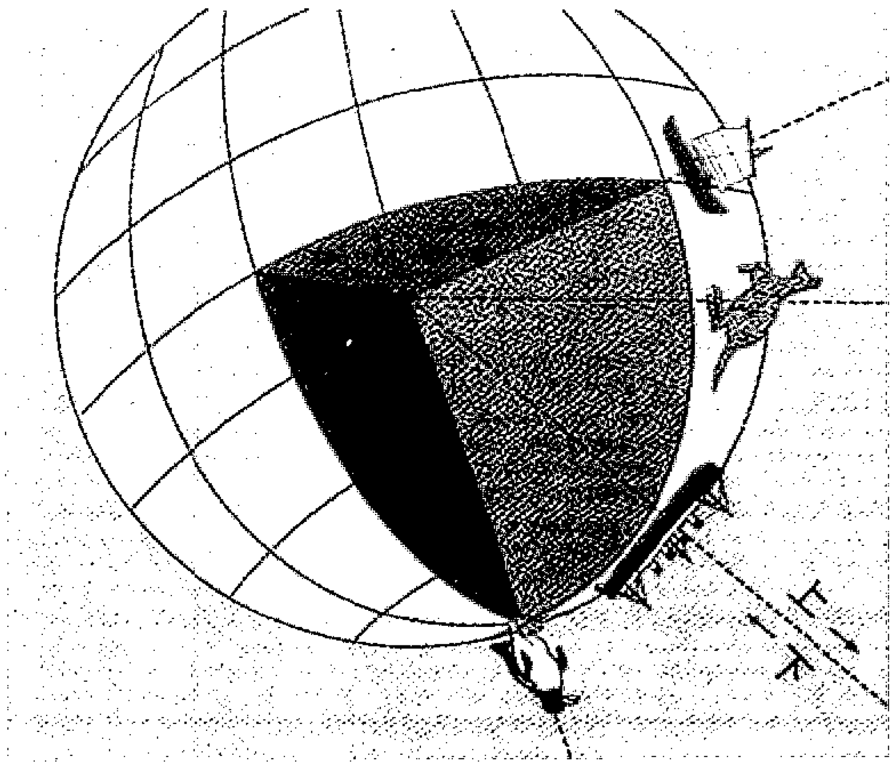




猫(上图)有它自己的左、右两边，但是桌子不分左右。就坐在桌边的女孩说来，右边的抽屉是指她面对方位的右边的一个抽屉。河流的右岸(下图)只能是划船人顺流而下的时候他右边的河岸，也就是河水流动的方向的右边。那些在另外一个方向行船的是逆流而上的船。

左和右用来作为标志方位的词的时候，它们通常表示一个人看见的某一事物的两边——左边和右边。世界上大多数国家的汽车的方向盘装在左边，就是说坐在车子里那个人的左边。动物和人一样也有左右两边。汽车、船、火车和飞机都有左、右两边，这是因为我们把它们看做是面向它们通常运动的方向的缘故。船和飞机的左边称为左舷；右边称为右舷。船的前端称为船头，后端称为船尾。

江河全都是往下流的——从高处往低处流。我们把河看做是"面向"下游的，所以把河两边的高出来的地方称为左岸和右岸。当你获悉一个城市坐落在一条河的左岸的时候，你可以想像自己正面向河的下游。这座城市就在你的左边。



从与地球的关系说来，"上"、"下"二个词有特殊的含义。下是指通向地球中心的直线方向，上是指离开中心的方向。

上和下

如果你手里的球掉下来，它会掉到地上或者地板上。如果你让一块石头掉到海里，它会沉到海底。我们说球和石头"掉下去了"。其实是地心吸力把它们向着地球中心的方向拉过去了。所以，下，意思是朝向地心方向。上，意思是离开地球的中心。(参见：**万有引力**)

"上"和"下"是说明方位的词。"上游"和"下游"、"上坡"和"下坡"也一样。我们也用这些词来给事物定位，例如说楼上、楼下，最上一层抽屉，等等。"上舞台"的意思是向着后台(舞台的后面)，因为早期的以及有些现代的舞台后面比前面高。

北和南

我们生活的世界在空间里自转。我们说地球自己在旋转或者自转的时候，是说它围绕着穿过它的中心的一根直线进行的。我们把这一根想像中的线称为地轴；我们把地轴的两端称做极——北极和南极。

地球仪是地球的小的模型。你可以从后面的图中看到从北极画到南极的曲线条。沿着这些线条中的任何一条线你将直达北极或直达南极。以北极为起点，你只能往一个方位——南方移动。从南极你也只能往北方移动。绘制地图的人发明了这些称做经度子午圈的线条，一一编号，以便给地球上的各个地方定位。

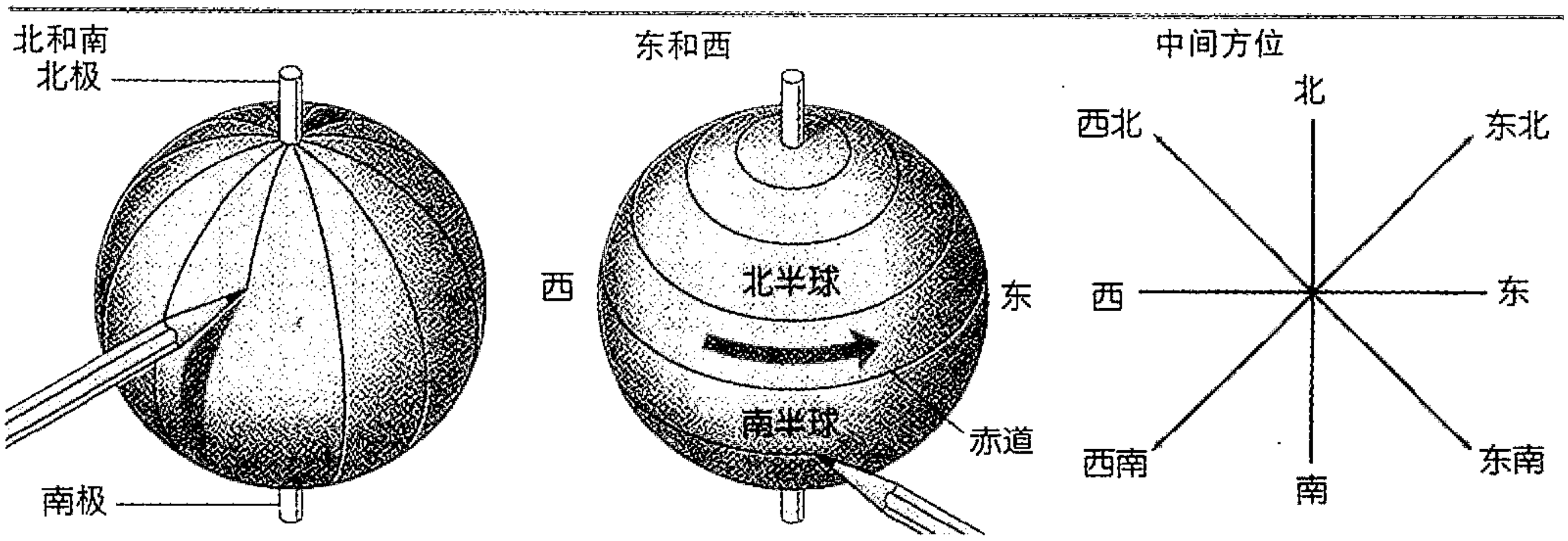
地球就像一个球，没有顶部和底部。我们把北极看做顶部只是因为所有的地球仪和多数的地图都是这样制作的。有时候我们说"北上"或者"南下"，其实只不过表示北和南的意思，与上下并不相干。墨西哥的狭长的山地半岛是加利福尼亚向南的延伸，它被称为下加利福尼亚半岛，只

是因为在地图上它位于加利福尼亚州的下端。

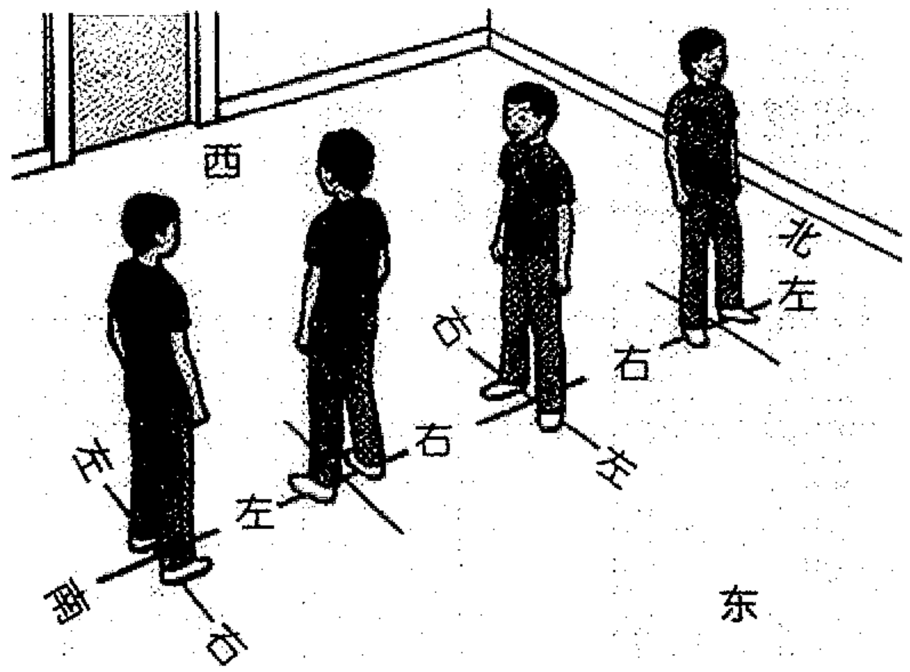
东和西

地球的自转还给予我们另外两个方位——东和西。东指的是地球朝它那边转的方位。西是它自转的时候背离的方位。地球每24小时转一个完整的圈，或者说一个完整的自转。

对于北极和南极这样特殊的点来说，东和西不是方位。飞机无论一直往西飞或者一直往东飞，都可以在地球上绕上一圈又一圈。



北是朝向北极的方位，南是朝向南极的方位(上左图)。因此，在北极的人惟一可能行走的方位是南。东(上中图)是地球朝向它转动的方位，西是地球转离的方位。赤道是北半球和南半球之间的分界线。在两个"真"方位之间的中间方位是东北、东南、西北和西南(上右图)。



一个人确定了一个方位以后，就不难确定其他三个方位。左边的男孩面向北方。他的右边是东，左边是西。而面向南方的男孩则与他正好相反。

东西向的线越接近两极，线条越短。最长的线是在两极之间正好一半的地方。这条线称为赤道，它将地球平分成两个相等的部分。这两个部分叫做半球。北半球在赤道北面。南半球在赤道南面。

事实上并没有一条把东和西分开来的像赤道这样的自然的分界线。绘制地图的人需要一条这样的线，作为测量时间和空间的起点。几乎所有的国家都采用通过英格兰格林尼治的线作为本初子午线，因为那是一个著名的天文台所在地。这条子午线与赤道一样，编号为零。它与赤道不一样，它是个半圆。它只从一个极通到另外一个极。(参见：**国际日界线；纬度和经度；时间**)

中间方位

北、南、东、西是仅有的"真方位"。在指南针上它们称为基本方位。两个基本方位之间的方位是东北、东南、西南、西北。整个方位系统都是建立在南、北极的基础上的。

地球仪和地图只有南北向和东西向的线。如果有谁想要在地球仪上画一条东北向的直线，这条线越接近北极，越加弯曲。

根据太阳确定方位

太阳只照耀地球的一面。地球的旋转造成白天和黑夜。因为地球向东旋转，看起来太阳好像是从东方升起的。因为地球自己总在向东运动，太阳好像整个白天都在穿过天空向西运动。旋转的地球背离太阳的时候，太阳就在西边消失了，或者说日落西山了。

看起来太阳可能是最合适用来确定东西方位的。但是冬季里(赤道以北)，它在远离真东和真西以南的地方升起和降落；夏季里它在远离真东真西以北的地方升降。一年之内只有两天太阳确确实实是在东方升起，确确实实是在西方落下。这两个日子大约是3月21日和9月23日。这是春分和秋分。全世界每个地方都这样，只有两极附近例外。太阳落山或者太阳升起的时候俯视东西向的街道可以对此进行验证。(参见：**地球；季节**)

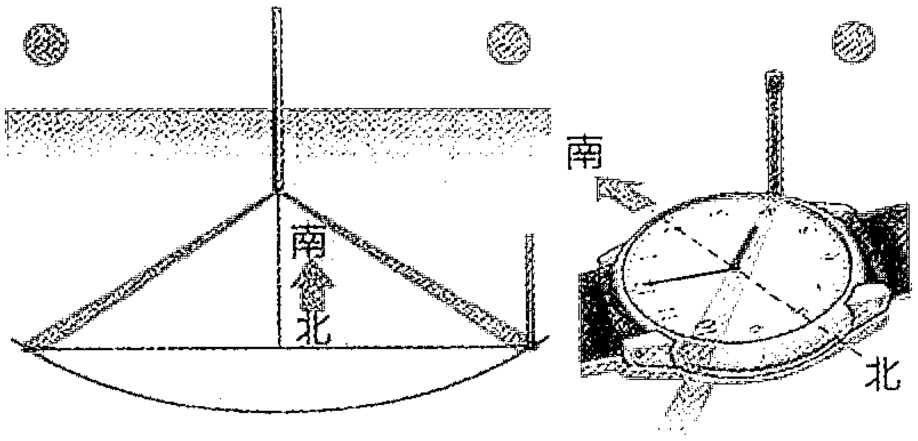
有一件事情在每个季节里都是一样的。生活在美国或者加拿大的人，正午时候太阳永远在南方。只要是晴天，你

就能靠着一根投影杆或者一块表来找准南方。

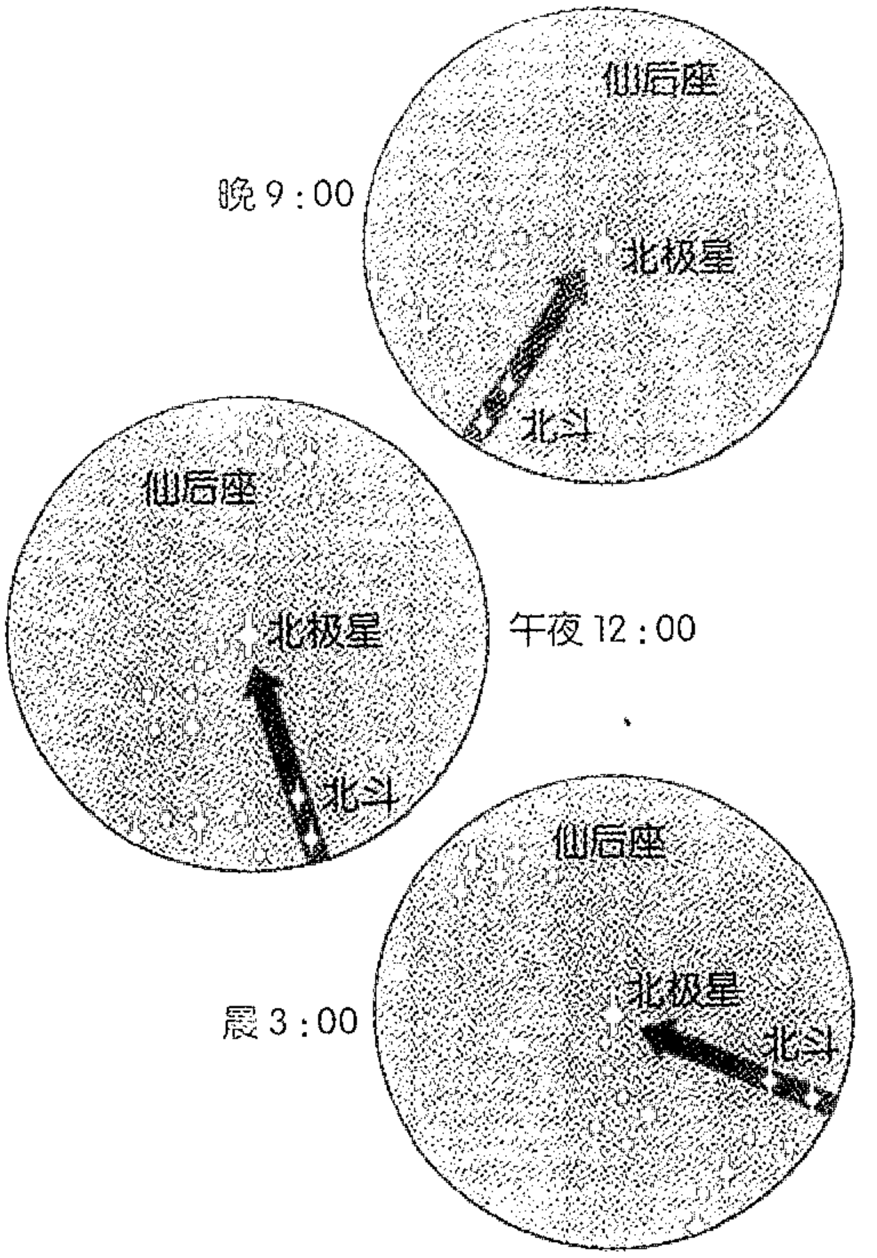
怎样利用投影杆确定南的方位

早上把一根长些的杆插进地里。在杆的投影末端立一根短些的杆。用一根细绳的一头结一个环，将环套在长的投影杆上。将绳拉紧，再将绳的另一头结一个环，套在短杆上扎紧。然后将套在环中的短棍绕着投影杆画一个圆。

利用投影杆或手表确定方位



怎样寻找北极星



在北半球，北斗七星每24小时完整地绕北极星转一圈；无论它转到什么地方，斗勺上的两颗指极星总是指着北极星。这几幅图显示9月21日夜间拱极星的三个位置。

中午以前，影子逐渐缩短。过午以后，影子又逐渐伸长。当影子再一次接触到圆圈的时候，在这一点上做个记号。将这一个点与早晨用短些的杆打的眼连接起来，画一条直线。从这条直线的正中画一条通向投影杆的直线。这条线就是一条南北线。指向投影杆子的方向是南。

怎样利用表找到南

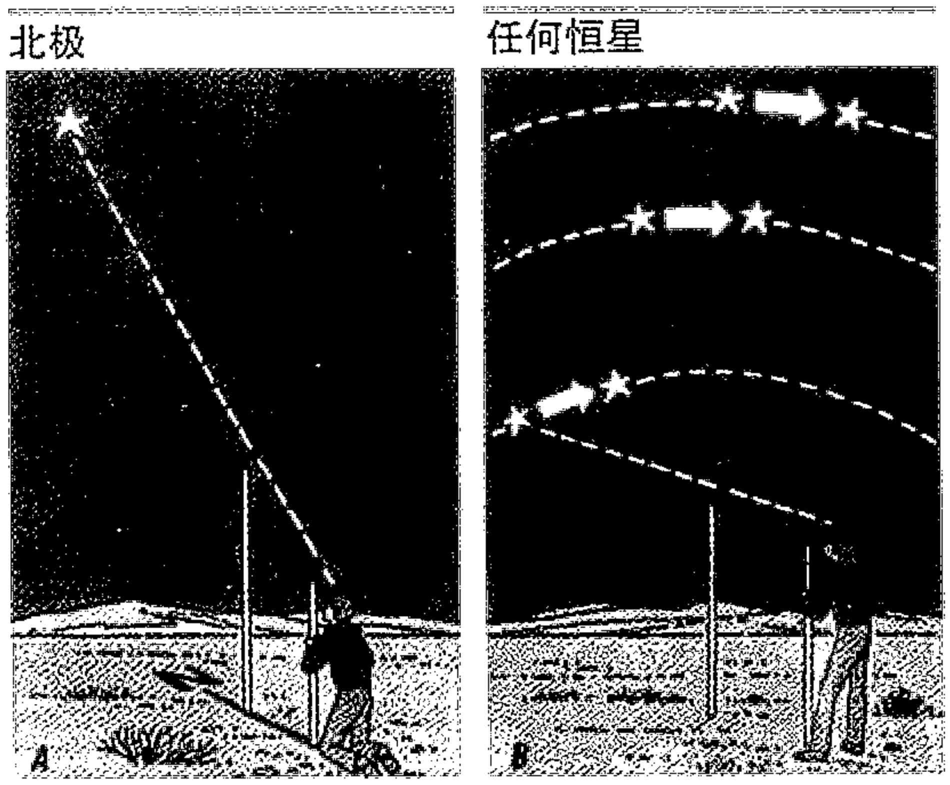
将表平放在阳光下的地面上。在表的边上直立一根火柴棍，使它投影在表面上。然后转动表，使火柴棍的影子正好与时针吻合。如果当时是正午12点，火柴棍的影子必然指着南，指着太阳的方向。当然，你的表必须符合标准时间（不是夏令时间）。

早晨和下午，南在投影线和12:00之间的等分线上。上午用表的左手这边来确定等分线的位置。下午用表的右手这边，向后倒着读数。

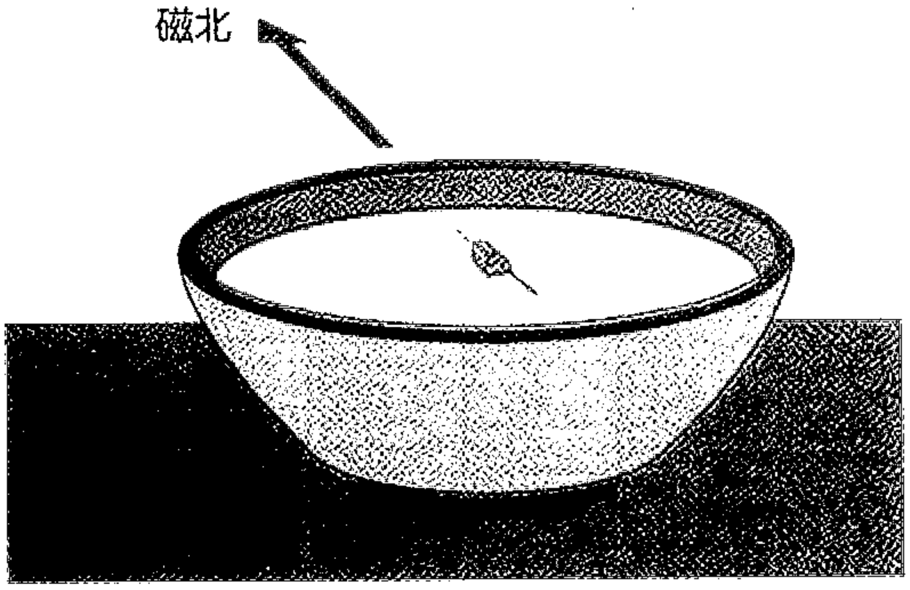
用恒星寻找方位

如果你站在北极仰望天空，你会看到有一颗星正好在你的头顶正上方。无论在北半球什么地方你都能看见这一颗星。在你用手指着这颗星的时候，你指的方向非常接近于真北。这颗星因此称为北极星。在发明罗盘以前，北极星是陆地或海洋上旅行者最好的向导。它不是十分明亮的星，但是很容易找到它。

从古以来人们就把天上的某些一群群的星看做是一个个图像。人们把它们称做星座。全部星座中最著名的星座就是组成北斗星的那7个明亮的星。其中组成斗勺的离斗柄最远的两颗星称为指极星。左边的星图说明怎样用指极星寻找北极星。当你找到北极星以后，再看小熊座（小北斗）。北极星是这个小的星座斗柄的最后一颗星。再往前可以找到仙后座。



观测恒星确定方位，详见正文。



这个简单的实验说明指南针是如何运转的。完成实验只需要一个玩具马蹄形磁铁或者一根条形磁铁，以及缝衣针、软木塞和装了水的碗。

北极星从来不落；它是天空里惟一的一颗总是在同一个位置上的星。紧靠着它的那些星称为拱极星，看起来在围绕着北极星旋转。北斗有时候似乎用柄站着，有时候像是用柄挂着。

怎样观测星星

在确定了北极星的方位以后，你要做的事是“把它放到地球上来”。前面的图 A 说明怎样观测北极星。图 B 说明怎样通过观测任何其他明亮的星来寻找方位。

A. 在地上埋一根长的桩子。然后取一根短一些的棍子，拿着它跪在地上。移动直立的短木棍，直到找到一个位置，你能够通过两根棍子的顶端观测到北极星，就好像用枪瞄准北极星那样。当三个点——两根棍子的顶端和北极星——成为一条直线的时候，把短棍插进地里。两根棍子的连线就是南北方向，长的杆子那头指着北。

B. 如果北极星被云遮住了，任何别的明亮的星都可以给你指示方位。用上述同样的方式通过高低杆观测那颗星。随后继续观测一小段时间，看看这颗星向哪个方向移动。别忘了这些星和太阳一样都从东方升起，穿过天空，在西方落下。

如果你观测的星是在天空比较低的地方，它将向上或者向下移动。如果它向上升高，你面对的方位是东。如果它向下方降落，你面对的方位是西。如果你观测的星星高高地挂在天上，它将不是上升下降，而是向侧面移动。它往哪个方向移动，那个方位就是西。如果它向你右边移动，你面对的是南。如果它向你左边移动，你面对的是北。

认识罗盘

每个爱好乘船航行、野营或者徒步旅行的人都应该随身携带一个袖珍罗盘。要是你正确地使用它，你总能找到返回出发点的道路。把罗盘平放在地上，等摆动的指针静止下来，箭头指的是哪一个方位？多数人以为它指的是北极。不是。地球还有另外的两个极，称为磁极。北磁极位于加拿大北部。南磁极在地球的相反的那边，位于南极地区。罗盘针指的是北磁极，或者说磁北。

怎样制作一个漂在水上的罗盘

如果你有一个玩具马蹄形磁铁或者一根条形磁铁，可以试着做这个实验。你还需要预备两只碗（不是金属的），两枚缝衣针，以及一块软木塞。你的玩具磁铁能吸住小块的铁制品和钢制品，例如纸夹。这个吸力称为磁力。磁铁的两端比中段的磁力强得多。这两端就称为磁极。（参见：**磁体和磁学**）

两个磁极看起来相似，它们的磁力也相等。但是你的水上罗盘却会显示出两个极的表现各不相同。

用铅笔在你的磁铁的一极上作个记号。将针尖摩擦作了记号的这个磁极，将针眼摩擦未做记号的另一端磁极。将另外一枚针的针眼摩擦做了记号的磁极，将针尖摩擦未做记号的磁极。现在两枚针就像罗盘里的指针似的都有了磁性。

将每一枚针各穿过一小片软木塞，使它能够在水面上漂浮。将两枚针分别放在两个碗里。针停下来不动的时候，每枚针都会像罗盘上的指针那样朝着同一个方向。不同的是，一枚针的针眼那头朝着磁北方向；另一枚针则是针尖那头朝着磁北。

将两枚针放进同一只碗里，两枚针将会针眼与针眼相衔接，或者针尖与针尖相衔接。这是因为我们已经使一枚针的针眼成为指北极的磁极，另一枚针的针眼成为指南极的磁极。异名极相互吸引。同名极互相排斥。

我们把磁铁的一端或者磁化的针取名北极或者指北极。因为它受地球北磁极的吸引。我们为相反的那一端取名南极。这样做是为了方便，实际上并不正确。既然异名极相互吸引，针指向磁北的那一头实际上是针的南极。

罗盘的错误——偏差和磁偏角

将一把钢刀靠近你的水上罗盘，注意针向刀刃游过来了。它不再指向磁北，已经不能再用来作为指示方位的工具。如果你想依靠罗盘为你指引方向，一定要留心别让它附近有什么钢或铁。这种因为铁或者任何别的磁性物质引起的罗盘误差称为偏差。

还有一种罗盘的误差称为磁偏角。这就是真北和磁北之间的差异。你必须知道你所在地方的磁偏角有多大从而酌情加减。只有你碰巧处在大致是从佐治亚州萨凡纳通往苏必利尔湖的这一条直线上，你的罗盘才会指向正北。在这一条线的东边，罗盘指向真北偏西。在这一条线的西边，罗盘将指向真北偏东。

怎样阅读公路图

地球仪是我们这个球形的地球的小的球形模型，但是地球整体或者局部的地图都是扁平的。所以只有地球仪才能显示真实距离、方位和形状。不过在许多方面地图比地球仪更加实用。地图可以有比较大的篇幅，表明更多的细节。地图可以印成书，像这部百科全书一样。地图还可以折迭或者卷起来，方便携带。

地图的种类很多，不同的地图说明不同的内容。用来确定方位的地图有海图、航空图、铁路图、公路图以及等高

线地图。这些地图当中最常用的是驾驶汽车的人用的公路图。

当你展开一张公路图的时候，你自然而然地会用手拿着它以便看清图上的文字，你可能十分肯定地知道图的上面是北，但是最好你还是找一找图上指明方位的箭头或者方位刻度图进行核对。如果找不到这些，那么上面就是北。

如果上面是北，右手这边就是东，左手这边就是西，南就在下面。当你把一张地图摊开在桌面上的时候，将地图上的北指向北。这样，你地图上的东和西就是地球上的东和西。如果你要把地图挂在墙上，你可以把它挂在北墙，当你面对地图的时候，地图上的东就指着东。

地图上的图式符号——节省篇幅的符号

公路图上出现的每一样事物不是一个单词，就是一个数字，或者一个符号。城市的常见的符号是一个圈。如果这个圈里有一个星号，这个城市就是首都。有些符号是一个小的图形。例如一架飞机可以代表一个机场。甚至线条也是符号。有些线条符号表示路面的种类。有些线条表示水道、铁路或者边境线。色彩也有一定的含义。

并不是所有的地图都使用完全一样的符号。在每一张公路图上你都能找到图例，它说明每一个符号的含义。

索引、坐标方格、参考系统

你在计划一次旅行的时候，会先查看地图，看看你现在所在的地方，再看看你要去的那个地方。你可以在公路图上的某个地方找到索引。这是地图上标出的全部城镇的按字母排列的清单。假设你要去斯尼德尔。你在索引中找到了它，它后面注明 E1。记住 E1，再去看地图。

地图上有细线的方格网，称为坐标方格。(有的时候只是在地图四边显示这些线条的末端。)在页边的参考系里你看到相对的两边标着字母，另外相对的两边标着数字。找出 E1 的位置。在这一个方块里你就能找到斯尼德尔。

大比例尺的地图可以是很小的

制作地图的人和建筑师一样，是按比例绘图的。如果他准备以 1 厘米表示 10 千米，那么在地图上的每一部分都必须是这个比例。

许多州的公路图还分别附有重要城市图。比起州地图来，城市图显得很小；但是因为这些图的比例尺大得多，它们可以显示街道、公园，以及重要的建筑物。比例尺越大，制作地图的人可以显示更多的细节。如果 1 厘米表示 10 千米，使用的人就可以很容易地确定一个点到另外一个点的直线距离。但是公路却是迂回曲折的。必须把地图上沿主要干线上标示的里程数加起来，才能计算出实际的行车路程。

用地图和罗盘明确方位

美国和加拿大直到如今还有许多大片的地区，在那些地方，一个人漫游许多天都可能碰不上别人，可能不会横穿一条路。在这种地方，渔夫、猎人、野外露营和徒步旅行的人，以及登山运动员都需要地图和罗盘找到自己要走的路。

满足这种需要的最好的地图是比例尺为 1:24 000 的地形图。地形图使用等高线表示地形高低。它还标志出每一条小河、池塘、林地，以及人造景观。这样的地图可以向地图书店购买，也可以从美国地质勘查局买到。

徒步旅行者最好的罗盘是供童子军使用的那种。它是镶嵌在透明塑料板上的。磁针在一个金属凹槽里摆动。这个凹槽可以方便地在塑料板上转动。凹槽的周边划分成 360 个部分，每个部分代表一度。

这些度，从 0 到 360，是顺时针编号的。北是 0，或者 360。东是 90，南是 180，西是 270。每一度指明旅行者一个可能的方位。

如果在地图上标记了出发点和目的地，最好的路线——可能并不是最短的路线——可以用罗盘来决定。下述方法将提供方向，不用理会摆动着的指针。

在塑料板的上端有一个箭头，标示旅行方向。将罗盘放在地图上，这时箭头(或者长方形塑料板的两个长边中的任一边)将顺着选定的路线的方向。随后转动罗盘凹槽直到罗盘上的南-北线与地图上的南-北方位相吻合。记住这时候在旅行方向这条线的下方的读数。

在地形图上印着的方向箭头可能会显示磁北与真北之间一定的差异。例如，假定磁偏角为东 5°，就要减 5°。如果磁偏角是偏西的，就要加上一定的度数。

一个人出发的时候，必须把方位从地图上转换到地面上来。必须使罗盘保持水平状态，整个罗盘要转到磁针尖指北。然后就可以按着塑料板上箭头指示的路线往前走。(参见：**地图和地球仪**)

城市 CITY

城市是相对地永久性的、高度组织的人口中心，它是人类最大的成就之一。城市不只是一个居住的地方，它是文明的发动机，是产生和丰富发展文化的地方，也是经济发展和繁荣昌盛的心脏。

希腊哲学家亚里士多德说过，从本质上说，人是社会性动物。他们倾向于集群居住，因为群居就结束了孤立状态。这样做还带来了合作和便利——人们相互学习，共同工作，彼此依靠。哲学家苏格拉底为自己热爱城市生活辩护说："我是个爱知识的人，我的老师是那些居住在城市里的人，而不是树木或者乡村。"

文明世界萌芽时期就已经有了城市。所以，研究文明的历史也就是研究城市的历史。要想追溯城市产生以前的时期，那就是史前期了。因为人类发明书写的地方正是美索不达米亚、埃及、印度河流域以及中国江河流域的古代城市。从那个时期开始，人们才有可能将自己的事迹和思想记录下来。我们今日所知道的关于过去的知识就是从这些记录得来的。

城市—乡村的冲突

据说"起初上帝创造了一个花园让人类住在里面"，但是人们离开花园建造了城市。如果圣经里的伊甸园意味着人类的天然家园，历史却作出了另外一种安排。然而，甚至那些干劲十足的城市居民也渴望"花园"，渴望景色动人的

山脉、湖泊、峡谷、江河以及森林——向往一个没有工业污染和霓虹灯广告牌的地方。离开城市意味着离开复杂的事物、噪声和拥挤。

离开城市也体现很久以来就存在的城市与乡村在价值观上的冲突。对许多人来说，乡村意味着有益健康的、宁静的、富于田园诗意的和顺应自然的生活方式；城市生活则意味着拥挤、暴力行动、利润至上、犯罪、社会问题，以及工业综合体的诸多丑恶现象。

有些人认为，城市既集中了人类的全部罪恶，也集中了人类的一切美德。它经常受人指责，同样经常地被人赞美。古罗马贵族不满肮脏和下层民众，离开罗马住进自己的乡村别墅。晚些时候的一些批评家也剧烈地批评城市。法国哲学家卢梭把城市叫做"人类藏污纳垢的地方"。弗吉尼亚州乡村出来的T.杰斐逊说过："大城市下层民众给予清廉的政府的支持就如溃疡对增强人的力量所给予的支持。"英国诗人雪莱走得更远，他把像伦敦这样的城市叫做地狱。

关于城市生活与乡村生活孰优孰劣的争论，或许永远也不能得出一个使大家都满意的结论。但是，至少现在，这一争论已经对城市有利。自从18世纪工业革命开始以来，西方世界的民众已经把城市看做是获得经济发展的地方。乡村人口急剧下降，在伦敦、曼彻斯特、纽约市、芝加哥、底特律、洛杉矶、上海、东京、香港、墨西哥城和其他许多城市综合体里拥挤的人群中有千百万人在谋求工作职位和较好的生活。

商业和工业资本主义制度把西方的城市建造成为生活的地方，成为有活力的地方。对于做工的穷人说来，尽管城市生活往往拥挤、费用昂贵、不舒服、简直像牲畜那样，但是比起乡村那种可怕的没有尽头的贫困来，它体现了改善。城市代表着希望，代表着上进的可能性。

城市的定义

在一般人心目中，城市是由许许多多的人聚集在一起，是邻里、商店、工厂、学校、教堂和其他机构集中的地方。城市这个词在一些地方使用的时候有技术或法律方面的含义。

例如在美国，城市是根据州的立法机构制定的特别法或者普通法经官方批准建立的一个城区。建市的特许状是一份文件，其中详细规定了这座城市市政府的组织机构，以及作为市政单位的权力范围。自治市是指它的居民享有地方自治。市既不同于城镇，又有别于乡村。大小不是决定的因素：美国有些市的居民人数不满3 000，相反，有些合并在一起的村庄要大得多。但是城市一般比城镇和村庄大。

在澳大利亚和加拿大，市这个名词用来指由国家或者省管辖的比较大的自治市政单位。在新西兰把大一些的，更加繁荣的城镇作为享有特权的自治城市。在英国，市只是一个官方的头衔，是根据皇家特别法或者确认历史上曾为主教所在地而被授予这个称号的城镇。此外，这个称号并没有特殊的法律意义。

如果使用非技术性的定义，可以认为城市是相对永久性的居民集中点，它占据特定的相对有限的地域，在经济和文化两方面都具有重要地位从而有别于其他类型的人类居住地。然而，从城市的基本功能和特性来说，它除了局面大小之外，与大的城填或村庄相比也没有显著的差别。

所有的市政当局都设置有警察部门、消防部门、社会服务、银行、百货商店、学校、教堂、俱乐部和协会，并组织文化活动。按一般理解，城市提供的活动和机遇的数量和种类必定大大超过较小的居民中心。

城市的成长和发展可能是随机的，杂乱无章的，但是城市的建立却不是偶然发生的事情。它出现在特定的时间和地点是有一定的原因的。例如旧金山的出现一方面归功于1849年的淘金热，也因为它是一个十分出色的海港。其他城市是由于贸易市场、大学中心或宗教场所建立起来的。但是，不管这些城市产生的原因是什么，这些城市的位置显示它们与众不同，表明了它们的特色。

不言而喻，城市必须有合适的水源和食物供应。因此许多城市都建立在邻近江河、湖泊或海洋的地方，一般附近都有农业地区。虽然现代运输已经可以长距离地输送食物，从古代到今天，城市都是这样定位的。选择城市位置的另外一个要考虑的方面是防御性，许多世纪以来这是极其重要的，今天已经不再那么举足轻重了。《新约》里有一句话常被引用，说"建造在山丘上的城市无处藏身"。它虽然无法躲藏，却便于防御。古代的、中世纪的以及近代的城市都不得不十分关注抵御敌人的攻击。如果一个地方具备天然防御系统，那就再好不过了。古罗马、伊斯坦布尔和耶路撒冷都是建造在山岗上的。在上面防守，比敌人在山下向上进攻容易得多。

水屏障也用来作为防御系统。波多黎各的旧圣胡安城是一个很好的例子。它三面环水，在每边的尽头都建造了大的要塞抵挡入侵者。

在没有天然屏障的地方，常常建造城墙。西班牙的阿维拉是保存下来的最壮观的有城墙的城市之一。人们还可以在别的城市看到城墙的遗迹，例如中国北京、土耳其伊斯坦布尔、法国卡尔卡松、希腊梯林斯、德国陶伯河上游的罗滕堡和罗得岛上的罗得。有城墙的城市，不是中世纪的发明。伯罗奔尼撒半岛的纳夫普列翁和迈锡尼两地之间的山脊上的梯林斯，肯定是世界上最古老的有城墙的城镇之一；公元前9世纪或8世纪荷马的作品里就提到过它。

火药和大炮使多数天然防御失去了作用，在20世纪里没有哪座城市遭到攻击的时候能保持安全。因此，再也不能像荷马描述的有城墙的特洛伊和它那"没有顶的高塔"那样，根据防御功能给城市下定义了。今天给城市下定义，主要的根据是它的位置、功能、文化成就等特征。鹿特丹、阿姆斯特丹、巴塞罗那、圣弗朗西斯科（旧金山）、新加坡、香港和热那亚都以海港闻名于世。比利时的安特卫普是一个海港城市，但是更加出名的是它的钻石市场。苏黎世是著名的金融中心。

意大利的佛罗伦萨的决定性的方面在于它是一所文艺复兴时期的文化和艺术的博物馆。芝加哥一度称为"世界屠宰场"，现在已经不再是大规模肉类加工中心。底特律是世界闻名的汽车生产地，匹兹堡是钢铁生产地。好莱坞或将永远作为世界电影首都而著名，尽管多数老制片厂已经衰落了。

有些城市如此之大又有如此之多的方面，以至于无法用简单的描述给它下定义。纽约市、芝加哥、洛杉矶、伦敦、巴黎和罗马是这方面的例子。这些城市向居民和旅游者提供人们要求一个城市提供的一切：金融、商业、工业、学院和大学、历史古迹、各种类型的企业，以及丰富多彩的文化活动机会。

城市化的过程

城市 urban 这个词来源于拉丁语的 urbs，意思是城市。城市化指人口向城市集中的过程。城市究竟是个什么样的地方，各个国家没有一致的说法。本文主要涉及一般对城市的理解，亦即定居在有限的地区内的大量居民。联合国在致力于国际标准化的时候，建议将有 2 万或 2 万以上居民的集中地称为城市地区。

对于城市地区，每个国家有自己的概念。美国一个地方聚居人口至少要达到 2 500 人才能称为城市地区，而在阿尔巴尼亚，一个地方只要有 400 个居民就能称为城市。冰岛只需要 200 人，而在韩国，一个城市的人口必须达到 500 000人。

城市地区的确认问题变得复杂化了，在美国尤其是这样，因为城市人口不断越出自然的边界。结果是城市地区通常大于根据自然边界确定的城市。

这意味着一个单独的居民单位可能包括几个行政单位。例如美国人口调查局关于芝加哥的报告里列举的芝加哥市的数据覆盖的范围实际上是城市特许状规定的合并的地区。人口调查局还公布了有关芝加哥城市化地区的资料，指的是城市及其郊区，以及远远延伸到威斯康星州的基诺沙和印第安纳州的加里这些城市都包括在内的大都市统计地带。大城市集群区这个词用来描述大都市地带彼此扩展到对方领域之中从而形成了一个巨大的连绵不断的居民集中地带和经济活跃地带(见：本条中“**大城市集群区**”)。美国东海岸从波士顿到首都华盛顿特区就是一个这样的大城市集群区。

城市这个词显然缺少作为技术术语的词自治城市那样的精确含义，但是它在描述 20 世纪居民大量集中在界限模糊不清的地理范围内的现象却是有用的词。

城市居民的增长和分布

1800 年以前没有广泛实施人口统计，因此不能准确追溯 19 世纪以前世界的城市化历史。但是自从 1800 年开始，已经对世界城市人口的比例进行了研究，提出了相当准确的报告。1800 年到 1950 年期间，世界城市人口比例由 2.4%增长到 20.9%。根据联合国开展的研究，到了 1970 年，世界人口 37%住在城市里。到了 1990 年，已经达到 43%。

城市化过程有两条途径：一条途经是增加城市的数量，一条途径是扩大每个城市地域的范围。一个给定地点的人口增加也有两条途径：一条途径是生育率增长，一条途径是从其他地方移民。

美国的城市化过程是个很好的例子。1790 年进行了第一次 10 年人口统计，当时只有 24 个城市地区居民数达到 2 500 人或者多于此数。到 1970 年为止，这样的城市地区有 7 062 个。不仅城市的数量增多了，而且每个城市的平均居民数也增加了。1790 年时平均居民数为 8 400 人；1970 年时已经增加到 21 145 人。因为两个方面同时增长的缘故，美国的城市人口所占的比例已经从 1790 年的 5%增加到 1970 年的接近 74%。因为美国规定有 2 500 或者更多居民的地方称为城市，1970 年的数字会给人一些错误的印象，这个数字并没有表明多数美国人居住在像纽约市、芝加哥和洛杉矶这样一些特别大的城市里。

人类几千年历史里有三个因素促使生活方式城市化，它们是：人口向外爆炸、人口向内爆炸和人口分化。人口爆炸指从古代到今天世界人口逐渐地然而加速度地增长。

人口增长最快的时期是 18、19、20 世纪。自从有人类起直到 1830 年，在这么长的时期里，世界人口总数才达到 10 亿。然而第二个 10 亿人口的增加只用了一个世纪，第三个 10 亿人口的增加才用了 30 年。据估计到 20 世纪末，如果没有发生什么大的灾难，地球上的人口将达到 70 亿。

人口的内爆炸指世界人口越来越集中到地球表面相对狭小的地区。人们可能会这么想，既然世界上城市居民有那么多亿，那么城市必然要占据相对说来大量的土地。但是事实并非如此。在美国居民点的面积只占 3%。从全世界的范围来说，这个比例数甚至更小。

大约公元前 10 000 年以后人类才开始定居生活。古希腊和古罗马时代，才出现居民聚集的城市，而且为数不多。罗马是地中海范围里最大的城市，居民人数可能达到 100 万，但也有一些学者认为还不到它的半数。

19 世纪以前还没有发展到人口超过 100 万的城市，一般说来，它是英国、欧洲大陆以及美国的工业革命的产物。中国或者日本可能在此以前就有几个城市达到这样的规模，但是即便在人口密集的远东，这样的城市过去也不多。

人口的分化是指同一地理位置内，居民的民族种类的多样化。这是各种族集团在其文化、语言和宗教方面的多样化。这种分化也是近年来产生的现象，是快速的大众传媒和交通运输把世界缩小了的缘故。

美国因为长期以来接纳来自各地的移民，通常被看做人口多样化的主要的实例。但是即便像瑞典、挪威、德国、法国以及荷兰这些看来种族内聚力很强的国家，第二次世界大战战后重建的结果也出现了一定程度的人口多样化。在俄罗斯和印度这样更大的国家的城市里，存在着民族、文化和宗教的高度多样化。

因为城市被看做是经济发展机遇向人们招手的地方，而改善经济状况的要求是不受文化和种族限制的，所以在城市里积聚了越来越多的多样性。但是，有些社会的法律却限制少数民族的发展机会。

古代世界

大约 10 000 年以前，人类开始以小村庄的形式定居。这类村庄一般是半永久性的，当一个地方因为原始的耕种方式而耗尽地力的时候，整个村庄就迁移到另外一个地方。如果一个村庄在一个地方繁荣兴旺，人口增长，这个村庄就只得一分为二，以便全部居民都获得生产食物的土地。

从村庄演化为城市，大约用了1 500年时间——公元前5 000年到3 500年。较大规模的定居归功于农业技术的进步，包括水利灌溉、驯养家畜以及发明轮子，后者使运输得到很大的改进。

城市扩大和繁荣的最重要的因素之一是劳动的分工。人口越多，它的需求也越多。不是人人都能当农民的。必须有人去盖房子，建谷仓，修庙宇，造政府建筑物和武器装备贮藏库。需要手艺人制作工具和日常生活用品。交易的形式发展了，包括发明了钱币。接下来又需要记载的方法，所以又发明了书写和数字。

越来越复杂的行政、安全、宗教和经济功能造成了更加复杂的社会组织。其结果是社会产生了上下层次的阶级分化，上层是国王、武士和僧侣，下层是农夫、工匠和手艺人。

中世纪

古代结束以后，中东、非洲和其他人口众多的地方城市继续繁荣而且兴建了新的城市。但是在欧洲，公元476年前后西罗马帝国瓦解以后，城市生活因为来自东方和北方的野蛮的游牧民族的不断人侵而一落千丈。

直到中世纪晚期，现代欧洲地图开始成形，那里的城市生活才出现实质上的复苏。欧洲的城镇建造在国王、王子和主教住处附近，封建领主城堡以及市场的周围，犹如古罗马遗址恢复了生命。

现代的城市开始出现于中世纪末叶和文艺复兴时期，说它们是现代的，是说它们的功能，不是说它们的外貌。在欧洲各地开始繁荣的城市主要是商业中心和经济中心。因此可以得出结论说，现代城市的起源，经济因素的作用大于任何其他因素。许多著名城市，例如威尼斯、佛罗伦萨、布鲁日、米兰、安特卫普，以及欧洲北部的许多汉萨同盟城市，它们的成长应归功于国际贸易、地区市场和金融。

根据今天的标准，这些中世纪晚期的城市既不清洁，也没有特别的吸引力。许多城市虽然有纪念性的建筑物和美丽的艺术品，但是除了统治者和富有的商人之外，大多数人住在简陋的房子里。街道比人行道宽不了多少；路面铺筑，巴黎开始于1184年，佛罗伦萨开始于1235年，吕贝克开始于1300年。14世纪时大城镇的人口规模，伦敦是40 000人，巴黎和威尼斯各为100 000人。

城市规模的扩大往往随之而产生居民的多样化。国际贸易发达的城市更加突出。其结果是城市分成在相当大程度上自给自足的“区”或者聚居点。每个区倾向于有自己的教堂或者犹太教堂、市场、水供应以及社会机构。中世纪的城市于是变成背景相同或者利益一致的人们居住在一起的各个聚居点的集中地。至今仍旧可以在一些城市里见到古老的聚居区的残余。或许最著名的就是巴黎的老拉丁区，那里的大学校园里的学者们用拉丁语说话。

工业革命

现代城市虽然起源于文艺复兴时期的商业活动和经济活动，但是只有在18世纪的英国产生了工业资本主义之后，现代城市才全面发展。劳动的进一步分工和专业化，促使工厂化生产系统成为可能。第一位现代经济学家亚当·斯密指出，人口的基数越大，劳动分工的可能性也越大。专业化程度加深有助于生产力的提高，原因有二：一是专业人员可以集中精力于单一的活动；二是许多专业化工作可以由机器完成。

城市的存在促进工业化，因为它提供迫切要求工作的人口。但是工业化对城市的促进更大，因为它对城市的壮大具有惊人的促进作用。1801年英格兰和威尔士地方居民数达到5 000或者更多的只有106个城市。50年以后，这样的地方已经有265个，它们的居民占全部人口的45%。到1891年，城市数为622个，居民人数占人口的68%。

欧洲大陆和美国的发展是一样的。1920年，除苏联外，欧洲人口32%为城市居民；50年以后，城市人口占64%。1800年，美国城市人口为6.1%，1970年时已经增长到接近74%。日本的工业化主要发生于20世纪，1970年时城市人口已经达到72%。

与此相反，世界上工业化程度较低的地区，虽然实际上那里的人口密度较大，但是城市人口的百分比却比较小。到1970年为止，东亚城市人口只有30%，南亚只有21%，非洲只有22%。拉丁美洲是主要的例外，1970年时城市人口为56%。

工厂系统与城市二者互相帮助，共同发展，交通运输与城市二者之间也是如此。19世纪初期，交通运输工具的品种相对地贫乏，稠密的人口倾向于聚居在工厂和其他工作地点附近，受限于步行距离范围。市内有轨电车和铁路出现后，居民就可以离开工厂散住到居民区去了。

19世纪末和20世纪初，上述的人口分散居住相对地还是有限的。但是随着汽车的发明、道路和公路的改善，城市的地方显著地扩展了。汽车的影响是巨大的，这一点在美国尤其突出。在使居民分散住到城市范围以外，以及建造比城市这个名词原来所指的范围大得多的城市地区这两个方面，汽车起的作用比任何其他因素都大。

郊区化

郊区suburb这个词也起源于拉丁语。它的意思是“在城的脚下”，是从前防御条件好的城市建造在山岗上的年代传下来的，城里住不下的人口只得住在山脚下。

郊区与自治城市是不同的政治实体，它们可以是城镇、村庄或者自治城市。它们有自己的征税权、政府，以及警察部门、消防部门和学校系统等市政服务机构。

郊区的扩大显然是越来越多的城市居民向城外地区迁移的结果。因为人增多了，必须为他们提供生活的空间。但是除了需要空间以外，还因为有些人深思熟虑地离开城市而使郊区扩大。

避开城市的现象开始于19世纪后期，当时并不普遍，只有那些富有的人家离开拥挤的城市，前往类似乡村的更惬意的地区去居住。但是第二次世界大战以来，离开城市迁居郊区的个人和家庭数以百万计。他们经过战后繁荣上升到中产阶级，离开城市和处于解体状态的居住区，迁移到拥有更宽广空间的郊区生活。

郊区扩展并不是特殊的美国现象，但是它在美国出现的比例比世界上任何别的地方都大。出现这种情况的原因

是因为这里的城市周边有大量的空地，可以开发成居民区和企业区。这些工地过去多数是耕地，由于靠近城市使土地极大地升值，不出售给开发商是不现实的。

郊区的扩大使城市地区的社会和经济两方面的质量都发生变化。二次大战以后，数以百万计的人从美国和国外的乡村来到中心大城市，这是城市人口离开城市的重要原因。这些外来人在经济阶梯的最底层做工。许多从事收益较高的工作的人就倾向于搬到郊区去住。此外还有一个重要的种族因素。战后来到城市的数百万人当中，许多是黑人和拉丁美洲人，而那些离开城市的人则是白人。

城市地区在经济上也受郊区影响而发生变化。居民众多的地方需要为他们服务的行业，最终也为他们提供就业机会。许多比较老的大城市的郊区提供的工作机会比城市还多。企业发现离开衰落的中心城市，离开那日益加重的赋税和水平低劣的公用事业，迁移到郊区去，更加方便、更加安全、更加有吸引力。郊区往往使居民受到更好的教育，资源更加富裕，公用事业比较好，社会问题也少得多。

大城市集群区

名词 megalopolis 来自希腊语，意思是"大城市"，法国地理学家 J. 戈特芒建议用来称呼美国东海岸从波士顿一直延伸到华盛顿特区的不间断的人口稠密带。这个名词后来用来称呼其他的城市与城市已经衔接起来的大都市地带。例如，从印第安纳州的加里延伸到芝加哥和威斯康星州的密尔沃基就是一个这样的大城市集群区。

美国出现的另外一些"大城市"有加利福尼亚州的洛杉矶和旧金山地带，德克萨斯州的达拉斯-沃思堡-休斯敦，以及东部五大湖区的底特律-托莱多-克利夫兰地带。在欧洲，荷兰的许多地方已经成为一个大城市集群区：要是乘火车从阿姆斯特丹向南走，火车在一个小时以内会穿过连绵不绝的人口稠密带，在进入比利时之前会经过哈勒姆、莱顿、海牙、代尔夫特、鹿特丹和多德雷赫特。德国的鲁尔河流域工业区从第二次世界大战的时候起，已经发展为一个大城市集群区。日本的东京-大阪综合地带也出现了大城市集群区。

发展中国家的城市化

城市化过程看起来在任何地方都是一样的：城市随人口增加而扩大。但是，城市化的过程，在已经工业化和相对繁荣的国家与欠发达地区所发生的情况相差悬殊。

在工业革命进展时期，在诸如伦敦、曼彻斯特、纽约市、芝加哥和匹兹堡这些城市的人口增长是经济快速发展的直接反映。人口增长也是对经济发展作出贡献的因素之一。在这些城市里，税收的增多、城市公用事业的数量增加及质量改善，都与人口膨胀和经济活动更加活跃同步进行。与此相反，在欠发达国家里，吸引大量劳动人口的并不是工业中心。亚洲、非洲和拉丁美洲的城市，在提供就业、住房和公共设施等方面的能力，都与城市的扩大不成比例。例如加尔各答、开罗、墨西哥城以及孟买这些城市，从极度贫穷的乡村地区吸引来千百万人，这些人来后不得不住在贫民窟里，住在大城市周围乡镇的简陋房舍里。他们或者没有，或者只有少得可怜的水供应、下水道、公用事业和交通工具。教育设施或者十分简陋，或者什么也没有。娱乐设施、市场和商业服务也极其有限。

发展中国家的这些庞大的城市——例如墨西哥城 1985 年人口达到 1 700 万——它们最糟糕的特征之一是土地的利用失去控制。失去控制的土地政策或者错误的土地政策，会造成紧邻工业区域的地方出现住屋简陋的乡镇和贫民窟。一次工业事故就可能给这样的地方带来灾难。例如 1984 年下半年墨西哥城郊区天然气爆炸使数百人丧生，印度博帕尔一场化学毒气泄漏事故导致 2 000 多人死亡。

城市通过兼并扩大

美国有不少城市实质上是通过兼并过程，合法地超过原来的范围增加地域和人口扩大的。20 世纪 70 年代，休斯敦通过兼并，增加人口 20 万，北卡罗来纳州的夏洛特增加人口84 700。兼并对城市有利，因为扩大了税收，对被兼并地域的居民来说也有好处，他们也许需要诸如自来水和下水道，或者警察及消防等城市服务。根据调查局统计数字，20 世纪 70 年代美国的城市通过兼并增加的人口为 3 142 000 人。

城市的组成部分

要观察一座城市的总体布局，最方便的办法是在城市上空飞行。你可以看到居民区里的住房、商店、公园、学校和游乐场；市中心有银行、百货商店、办公大楼、旅馆和政府大楼等等；工厂和工业园区分布在周围的边缘地带。有时候在非常大的城市里，在居民区里或附近也有工厂和工业园区。

服务设施

但是前面提到的只是最明显的外貌。一个城市要顺利运转，必须有好的道路——便于小汽车和大货车来往行驶的各种各样的交通干道。还必须有自来水和污水排放系统，电力、天然气、电话线等公共设施。城市越大，就越加需要相应发达的包括公共汽车、有轨电车和火车在内的公共交通系统。

快速干道

为了市内和环城行驶车辆的方便，兴修了许多快速干道。许多居住点为了给干道让路而被从中间隔开。

芝加哥、密尔沃基、洛杉矶和达拉斯等地建造了有好几条行车道的巨大的快速干道，以便汽车和货车在城市的中心和城市的周围通行。在修建这些道路的时候，往往因为居民区被拆散而引起公众抗议。与此相反，巴黎、伦敦和其他的欧洲大城市却没有修建穿过市中心的快速干道。那里的大的通道是造在中心城市的外面的。

例如巴黎有一条称为环城路的多车道的快速干道围绕着城市。正因为这些城市里头没有大的快速干道，所以它们的一般说来比较狭窄的街道上往往发生严重的交通阻塞，行车速度比美国城市里慢得多。但是欧洲的城市拥有的公共交通系统一般比美国的城市优越。

城市规划

要想使任何一个像城市这样庞大的企事业运转自如，组织工作是必不可少的。城市规划是使现代城市日臻完善的有效途径之一。有些城市，例如华盛顿特区、底特律、澳大利亚的堪培拉，以及巴西的巴西利亚，都是得益于早期规划的。

虽然古代也有按规划建城的例子，但是在19世纪以前，城市规划工作并没有受到重视。在此之前许多世界闻名的大城市已经存在。规划者们面对的是早已建成的城市，在政府的合作下重新塑造它们。中央政府或者市政府往往是更新城市的创导人。19世纪后半叶修建的巴黎的林荫大道主要出于拿破仑三世的命令。继巴黎之后，德国、意大利和瑞典等国也立即展开了大量城市规划活动。19世纪90年代美国也展开了城市规划活动，由D.H.伯纳姆为克利夫兰、旧金山和巴尔的摩等城市作了规划，特别著名的是伯纳姆的芝加哥规划。

区域布局是城市规划必不可少的一个方面。专家们根据各项的指定用途安排出专门的地区。例如商店、住宅、学校、警察局和消防队、工厂、批发店和商品仓库，以及农产品市场等都要划定专门的地区。如果城市某个地区划定为住宅区，那里就不允许修建工厂。不过居民区内允许有商店、学校、消防队和警察局、教堂，以及其他为住在那里的居民服务的机构。

区域布局还可能规定应该遵循的建筑类型和风格。在许多欧洲的城市里，如果一个建筑物被拆除后进行重建，区域布局法往往要求新建的建筑物与周围的古老建筑群在风格与大小上协调一致。在第二次世界大战之后，在重建城市中被炸毁地区的时候，新的建筑物往往倾向于恢复已经在那里存在了几百年的老样子。然而也有例外。例如德国莱因河畔法兰克福的市中心和美国的许多城市十分类似，也是一幢幢高高的写字楼和一条条宽阔的街道。慕尼黑则完全相反，重建以后看上去与战前差不多一样。

城市气候

对一些人说来，城市体现了人类对自然的征服。当然，这是自然的根本的改变。一度是田野和森林的地方，现在铺设了人行道，盖了各式各样的建筑物。大城市存在的本身，加上城市里进行的全部活动，可能永远地改变了城市藉以繁荣发达的环境。

空气污染

乘飞机来到洛杉矶、芝加哥、纽约市、伦敦和多数其他大城市地域的旅行者，如果到达的那一天是个典型的日子，他不可能不注意到大气中悬浮着一层黄褐色的气体。这是城市空气受到污染的可以看得见的部分。污染对天气的影响究竟大到什么程度，目前还不清楚。毫无疑问，它遮去一部分阳光、改变地面的反射性质，使土地在吸收和释放热量方面发生变化。看起来它对降雨和降雪也产生一定的影响。城市大气里最普通的污染物质是二氧化碳、一氧化碳、二氧化硫、碳氢化合物、氧化氮、臭氧，以及汽车、公共汽车和货车的废气，工业生产、火力发电的燃料燃烧、废物燃烧，还有光化反应等等产生的微细的颗粒。

人们只是近年来才开始认识这种无所不在的污染造成的问题有多么严重。它严重影响人类和动物的健康。植被将会遭到破坏，连城市的建筑物也会受到损害。

城市地区遭受污染程度决定于污染源的数量和天气状态两个因素。有些地方天气条件偶然的变化导致污染物积集，并且持续一些日子。要是这个地区有山岗或者山脉这类天然屏障，受污染的空气在一段时期内会被封闭，高浓度的污染物将会使人难以忍受。洛杉矶就是一个特别易于遭受这类密集的空气污染的城市。一个极端的例子是1952年伦敦在严重污染密集的一段时间里，有4 000多人被夺去生命。

气候变异

不说污染，单说城市的存在就足以使它直接所处的地域的气候发生变化。例如，产生能源的燃料燃烧所产生的热，很大程度上使城市的温度高于周围地区。高层建筑群、铺料覆盖的路面，以及停车场都对风力和风速产生影响。

无论是夏季还是冬季，城市铺筑过的路面和建筑物吸收和积蓄的热量都比开阔的郊外多。因此无论白天或者黑夜，城市的温度都比较高。必须注意，覆盖城市地域的一层污染物也使它比未被污染的地域温度高些。

湿度的不同也增加了城市和乡村的温度差异。城市的平均相对湿度通常比附近的乡村地区低几个百分点。湿度差异的主要原因在于城市与乡村的地面截然不同。乡村地区为植被所覆盖，植被能保持雨水不使流失；城市的地面覆盖着水泥、沥青和其他不透水的物质，降水迅速流失。城市还因为温度较高而使相对湿度降低。

在多数大城市上空大气中的那一片悬浮微粒物质层使到达城市的太阳辐射量远远少于郊区。最大的城市接受的太阳辐射总量要比邻近郊区平均少15%-20%。

例如，在荷兰鹿特丹市内和郊区进行的检测表明，市中心接受的辐射量比城市边缘地带少3%-6%，比周围郊区少13%-17%。伦敦在20世纪50年代中期实施排烟控制之前，市中心年日照量比郊区少270小时。实施排烟控制后，日照小时显著增加。

一个地区的降雨降雪总的数量受许多因素，包括地形或者地表特征这些因素的影响，因此很难确定城市起多大的作用。根据欧洲和北美洲的资料来看，许多大城市的降水量大约要比邻近的郊区大5%-10%。

20世纪60年代，环境问题成为公众关注的焦点，一般认为主要由于城市地区的污染，人类可能无意中大规模地改变着全球的气候。但是至今还没有这样的研究工作说明全球大范围气候已经受到显著的影响。虽然如此，城市地区范围里的气候，确实与它原来的自然状态的气候不同。这种不同被称为热岛效应。大城市比周围地区暖和。在温暖的季节里大城市吸收的热量多些，到了寒冷的季节它释放的热量也多些。

有人认为城市在使地球变暖的趋势中起着很大的作

用，这种说法似乎是有道理的。人们之所以觉得没有把握，一定程度上是因为连气象学家也不知道气候变化的具体原因，他们也不清楚气候究竟要朝哪个方向变化。有些科学家预言一个新的冰河时期将要到来，因为他们觉得遮住阳光的污染层会使地球表面变冷。另外一些科学家则预言这个污染层会把热辐射封锁在大气里面，造成变暖的趋热，也就是通常的所谓温室效应。温室效应使两极的冰盖融化，现在位于海平面或略高于海平面的每一个居民区都将被海水淹没。（见：温室效应）

城市政府

从历史上说来，城市的出现比国家早得多。因此，地方政府比国家政府的历史长得多。但是现在，除少数例外，城市通常是政府权威更大的单位的一个部分。在美国和德国，城市归州管辖，不过每个城市还有一定程度的地方自治权。法国的地方政府受各部管理，而各部又从国家政府获得部分职权。

从 19 世纪开始，一些因素使城市政府、地区政府和国家政府成为密切的、长期的合作伙伴，例如，大家认为某些地方性的行政机构，诸如与公共卫生或者防止犯罪有关的部门，具有广泛的重要性。而地方当局必须经常向州政府或国家政府寻求经济援助，补充地方税收的不足。又如美国的地方性学校系统接受州政府资助，否则将不能顺利运作。

市政服务

不论国家政府是什么形式，每个市政当局都必须提供一定的服务。这些服务包括警力、法院系统、监狱、医院、公共卫生设施、公路和街道保养、城市规划、学校系统、消防系统、低租金住宅、环境监测、自来水，污水系统、垃圾和废物处理，以及福利事业。

许多城市都支持博物馆、画廊以及各种文化活动，包括戏剧、歌剧、芭蕾舞剧、公共节日和商品交易会活动、图书馆、演讲、绘画和雕塑展览等等。有些城市专门成立了促进旅游业的机构，下面设有委员会宣传城市的旅游设施。有些国家的公用事业和公共交通是由市政当局劳动者公共公司运作的。这种属于政府所有的公共公司也与市政当局有密切的联系。

市政府必然关注它管辖下的地区的经济的良好运转。除了规划法、税收政策或公共卫生条款规定者外，美国的市政府不能控制或者领导工业。但是任何地方的市政府都能通过良好的规划和实际的发展，通过为传统和定期的贸易市场提供便利条件，通过提供优质的市政服务等等途径，间接地扶持工业和商业。

每一城市都希望尽自己的力量扶持工业，促进贸易，但是世界各地经济结构的变化削弱了城市支持它的经济和税收的基础的能力。许多城市中心区的工业衰退，或者向别的地方转移，这就造成因就业机会外移的城市人口下降。随之而来的是失业率上升和贫穷，滞留在原地的人口面临着不能就业的暗淡的前景。

多重管辖权

管辖区指的是尽管很小，却具有某种程度自治权的一个地区。大城市区域里有许多个独立的管辖范围。例如芝加哥有芝加哥市政府。但是芝加哥是被郊区包围着的，每个郊区都有它自己的郊区政府。因为芝加哥和它的各郊区都在库克郡范围之内，后者也有它自己的政府。

上述各个地方政府在一定程度上受伊利诺伊州管辖。管辖的多重性变得更加复杂化，是因为在一个城市里可能存在相对独立自主的政府部门或者委员会。例如在芝加哥，教育部门和园林部门各自管理它们的业务。这些部门，虽然它们的成员都是市长任命的，却不归市政当局管。

为数众多的管理系统的出现或多或少是因为人口增加了，新建了许多郊区的缘故。郊区的边界带有任意性，是人为地划定的。有些自治单位辖区很小。但是每个管辖区都必须提供同样的服务，每个辖区都有独立的税务机关。结果造成大量的重叠现象。向居民征税的既有城市和县，还有州和国家。如果说芝加哥有一个消防部门，它周围的 10 个小的社区是不是都有理由拥有各自独立的消防部门？

各个州没有理会这些，没有哪个州试图重新组织地方行政单位，使它们的边界和权力符合现代生活的经济和社会的实际情况。美国没有哪个大城市中心的市政当局有权力将大城市作为一个整体进行规划，也没有权力将需要大规模组织的服务结合起来成为一个整体。

有许多因素阻挠着大城市政府单位的改组。州政府一般说来对这个问题不感兴趣。郊区政府则反对并入大的市政当局，或者成为它的下级，特别是对那种中心城市，它们动辄动用最大的权力，通过向富裕的郊区征税来解决中心城市自己的问题。另外还有一种普遍的看法，认为地方政府应该维持不变，除非多数选民同意改变。

加拿大安大略省的多伦多进行了北美洲最成功的大城市政府实验。20 世纪 30 年代，多伦多市的范围包括中心城市和另外 12 个自治市区。大萧条使 12 个自治市区发生严重的财政困难。它们无力支付欠款，也不能承担必要的公用设施，例如建造新的自来水管道和下水道系统。

二次世界大战以后人口的迅速增长，越发加重了这些负担。1953 年，安大略省委员会建议这 13 个市政单位共同成立一个同盟式的政府。于是通过了多伦多大城市市政法案，成立了 25 位议员组成的多伦多大城市议会，于 1954 年 1 月 1 日举行了第一次会议。这个议会的使命是寻求解决共同问题的途径，至于纯属各地区自己的事务则仍由各地区自行独立处理。

郊区政府并没有取消，市议会的议员出自郊区政府成员。通过共同工作，他们对财产的征税金额取得共识；监督了新的自来水和下水道系统的建设；建筑了快速干道和公路以及新的飞机场终端大楼和地下铁道系统；批准创办新的学校和改建老的学校；建立地区公园系统。这个体制的改革十分成功。1967 年重新改组，减少了郊区行政单位的数目，扩大了市议会的规模。1975 年市议会进一步扩大，议员增加到 39 人，同时扩大了它的职责。

组织形式

因为各个地方的市政府的工作都是一样的，所以它们的组织形式也往往类似。必须有一个人或者几个人作出决定和制定政策。政策一经制定，就应该由一个委员会和一个什么部门来执行。被任命执行政策的那些人，倾向于成为一个长期存在的政府官吏体系。但是，尽管总体上是类似的，世界各地还是出现了一些各具特色的市政府。

美国 美国传统的最普通的城市政府是市长-市议会制。它又分为两种类型——弱市长和强市长。

19世纪初，美国的政治盛行极端民主，因为人们不愿意有一个强有力的地方官。所以一般都是弱市长的形式。当时几乎每个市政官员包括消防队长、税收官员、财产估价人、警察局长，以及其他等等官员都要通过选举产生。在这种体制下缺乏有组织的领导；当每个人都负责的时候，实际上就没有人负责。市长没有什么管理权，而市议会却有相当大的权力，它是通过各种委员会来行使权力的。分散的权力往往通过一个政党的领袖进行协调，其结果是市政府里发生大量贪污受贿现象。

弱市长试验产生的反应是强市长体制，现在多数大城市里就是这种体制。市长有权召集市议会，并且有权否决市议会的立法条例。市长制订预算，任命各个部门的负责人。并且通常被看做是整个社区的领袖。

在20世纪开头几年里，在得克萨斯州加尔维斯顿引进了委员会制的市政府形式。前面说的那种市议会由一个小型委员会所代替，它的成员是由选举产生的，他们决定政策，并且履行市议会的其他职能。每一个民选委员都是一个或几个行政部门的主管官员。这个委员会还任命各种工作委员会。从这些民选委员中选择一位担任市长，但他并不是首席执行官。在委员会体制中的市长很少有否决权，他区别于其他委员的是他有这么一个头衔。在美国城市中采用这种体制的不到10%。它从来不曾构成对强市长体制的有力挑战。

向市长-市议会这种城市政府形式提出严重挑战的是城市-管理人体制。20世纪初年流行一种组织企业的方法：董事会授权总经理经营管理，总经理向董事会负责。城市-管理人体制就是从这种方法衍生的。

这种概念被应用于城市政府形式，产生了一个全部由选举产生的3至9人的小型委员会。这个委员会雇用管理人，通过法令法规，通过预算，并且决定税收方案。如果设立市长职位，这个市长只是礼仪性的，就像君主立宪国家里的国王。城市管理人是执行者，他任命各部门的负责人，协调各部门的活动，准备预算，向城市提出报告，将委员会决定的政策付诸实施。

城市-管理人方案是由全国短票选举协会设计出来的（短票选举，指美国只选举主要官员而次要官员改由政府任命的投票选举办法。——编者）。俄亥俄州的代顿是大城市中第一个于1913年采用这种选举方式的。这种方式迅速传播开来，美国、加拿大、挪威、瑞典和爱尔兰的许多城市都采用了。到20世纪80年代初期止，美国约有2 400个城市采用这种方式，加拿大有129个城市采用城市-管理人体制。

英国 联合王国的政府形式是单一的，它的议会是全国的最高立法机关。地方政府按照议会的立法行事，任何时候法律都可以改变它的权力。20世纪里中央政府权力加强，它取得了批准地方政府提出的一些方案的权力，这些方案包括例如改变教育政策、城镇规划、土地利用，以及批准官员的任免等等。随着中央政府权限日益扩大，地方政府发现自己在财政上对中央政府的依赖也日益加深。

1972年，地方政府法令中对中央政府与地方权力二者之间的关系作出了明确规定。法令中规定有两种级别的郡、县体制，郡比县大。大规模的行政事务由郡负责，县只处理范围较小的更多地属于地方性的事务。有些大的城市地域如曼彻斯特、利物浦和伦敦都划分出一些大城市郡、县区域。

地方政府年收入的基本来源是财产税。因为不愿意过分提高税额，地方政府转而指望来自中央政府的拨款有所增加。（这一点在美国也是如此，地方官员向州政府或联邦政府寻求拨款，补充地方的财产税收入。）但是在撒切尔夫人担任首相的时候，1989年4月将人头税引进苏格兰，一年以后进入英格兰和威尔士。这种税又称公共税，它不理会一个人的收入或者财产的多少，基本上是按人头计算个人要缴纳的税款。当时准备将人头税代替财产税。引进这种纳税制度的部分理由是将地方政府的真实费用告诉每一个居民。另外一个理由是使大家的负担相等。因为人头税是一种大家平摊的税，它非常不得人心，以致首相的声望急剧下降，终于使她在1990年去职。她的继承人梅杰修改了税收办法，人头税可望废除。

城市生活

许多学者对城市社会学进行了研究，他们发表的关于城市生活对人们的影响的报告是有分歧的、互相抵触的。人口是区分城市生活和小城镇或者农村生活的惟一特征。在城市里有更多的人彼此住得更靠近。没有疑问，居住在大的人口中心会影响个人的行为和情感性格。住在小城镇里的人总是意识到一种非正式的社会控制：家里的人会怎么看？邻居会怎么想？他们知道流言传播的速度有多么快，所以，他们的社会行为会受到上述这种意识的修改。在大城市里，这种非正式的控制让位于正式的控制——警察、法庭、监狱、法规和命令。没有了非正式的控制，人们就自己管理自己。城市的儿童往往被困在家庭、邻居、朋友加在他们头上的非正式控制里。而成年人却容易摆脱这些控制。对性格坚强的成年人说来，这没有什么。但是对于那些别人对他们的看法严重地影响他们的生活的人说来，失去非正式控制可能会使他们非常不安。

这种人可能淹没在人群之中。他们与人们的接触只不过是表面上的；仅仅在生活道路上与别人交叉的那么一个点上作出反应，例如在工作里；在杂货铺里；在饭店、戏院或者酒吧里；在公共交通工具里；或者在偶然的社交聚会里。即便有几百次的个人接触，这样的人可能还是很孤独的。他可能觉得社会对他疏远，没有人关心他。这种孤独感可能发展成为精神疾患、酗酒、吸毒或者犯罪。因为正式的控

制不是针对个人的，它对人产生的效果不像非正式控制在规范人们的行为方面那么强有力。

人口密度长期以来被认为是城市生活影响人们行为和情感性格的另外一个方面。通常认为"密度"这个名词的意思是过于拥挤，但是它们不是一回事。密度指的是单位面积里住宅的数目，而过于拥挤指的是在一个住宅里住的人数太多。高密度地域对一个城市来说是个优点，它是多样化、有生气和经济发展机遇的象征。虽然如此，过于拥挤却会产生严重的社会后果。正如动物实验表明的那样，居住条件过分拥挤的时候，动物有异常的社会行为表现，人们在同样情况下看来也会出现偏离正常的社会规范。他们走向犯罪、吸毒、酗酒和社会动乱；他们还可能成为精神病患者。

但是居住过于拥挤只不过是第二位的原因。第一位的原因是缺乏经济发展机遇。居住过于拥挤通常是贫穷的结果。而且说也奇怪，许多最拥挤的住房并不出现在高密度地区。在许多城市里，通过城市更新改造，贫民窟已被高大的单元住房所取代，这些地区里居住单位并不像别的某些居民区里那么多。但是，屋子里住的人是十分拥挤的，这些住户在经济、社会、教育及文娱各个方面的机会都很有限，他们与周围的大的社会很少有什么接触。

如何解决居住过于拥挤的问题？以及怎样创造良好的城市生活？这两个问题的答案是相同的。理所当然，这个答案是发展经济。城市是经济增长的主要场所。如果某个城市的经济停滞，这个城市其他方面的质量也就随之降低。如果一个城市繁荣昌盛，公众生活的质量也将大幅度提高。

审核：Peter G. Brown

环境污染 POLLUTION, ENVIRONMENTAL

努力提高人类生活标准的结果——通过对自然界的控制和新产品的开发——已导致环境污染或损害。目前世界上大量的空气、水和土地已部分地被化学废物所毒害。有些地方已不适于居住。这种污染使全世界的人民都面临着新的疾病危险。许多动植物的物种遭到危险或已绝灭。由于这些事态的发展，各国政府已批准一些法律来限制或扭转环境污染的威胁。

一切生物都对环境有一定的影响。例如，食肉动物使它们的猎物总数减少，兽群可能蹂躏广阔的大草原和冻原。当大暴风雨使河流泛滥，将多少吨淤泥沉淀到三角湾或海湾中，可以说是天气造成了污染。这些是大自然可以平衡或适应的暂时混乱。但是现代的经济发展却有时破坏了大自然的微妙平衡。人类造成的环境污染严重程度，已使某些科学家怀疑，如果不立即采取纠正的措施，地球上的生命是否可以继续生存下去。

生态学和环境恶化

研究生物，包括人类与其环境相互关系的科学分支，称为生态学。地球养活着约500万物种的动植物和微生物。它们相互影响并影响它们的环境，形成一个由许多相互关联的环境系统所构成的庞大网络，称为生态系统。北极冻原就是一个生态系统，巴西雨林也是。夏威夷群岛是一个相对独立的生态系统。自然环境系统如果不受扰动，则倾向于在繁多的动植物物种之间达到平衡。复杂的生态系统能够补偿由于天气或者动物迁徙的侵扰所引起的变化。因此通常被认为比简单的生态系统更稳定。一块谷田里，只有一个占优势的物种，即所种的谷物，因此是一个很简单的生态系统。它容易因干旱、病虫害或使用过度而被破坏。能破坏谷田的天气，也可能对附近的一片森林危害不大，因为该森林具有动植物品种较多的特点。它的复杂性赋予了它的稳定性。

每个环境系统都有养活其中某一物种的最适宜或最需要的承载量。某一物种的相对总量的变化，可在该生态系统的其他物种之间引起一种链式反应。例如，使用大量化学农药来消灭一种昆虫时，也可能消灭了以该昆虫为食物来源的一种鸟。

人类的这些活动已导致许多动植物物种的绝灭。例如，过度猎杀导致旅人鸽的绝灭。该物种的已知最后一个幸存者1914年死亡于辛辛那提动物园。不到一个世纪以前，旅人鸽的总数至少还有30亿。过度猎杀和对自然生活环境的侵害，危及许多其他物种。在这些濒临灭绝危险的物种中，有巨大的鲸类和加利福尼亚神鹰。

人口的增长和环境的破坏

地球上资源的减少与人口的增长密切相关。人类在数万年间的生活与环境相当协调一致。过去人口很少，维持生活的工具简单。工作所需的动力大部分由劳动者和动物提供。但是自1650年以来，人口已显著增长，由于世界人口每年不断增长，过分拥挤问题随之加剧。

世界人口的增长速率在1970年达到约为2%的最高纪录后，终于开始降低。1987年地球上共有50亿人。据联合国预计，到2000年世界人口增长率将降为1.5%。即使如此，到21世纪初，生活在地球上的人数将为61亿——为1960年生活在地球上人数的2倍。

剧增的人口日益集中在城市区域。目前许多城市都有数百万居民。在比较不发达的亚非拉国家中，由于人们为了谋取食物、庇身地和就业而离开农村家庭流入城市，有许多城市的人口过剩。有些农民被旱灾和饥荒逼得背井离乡。

环境污染因人们聚集在乡镇和城市中而产生。古雅典人将他们的垃圾运到市区以外的垃圾堆。古罗马人在市外挖掘深沟以容纳垃圾和废物（包括人的尸体），这是一种可能引发病毒病的做法。

古罗马人可能是受到铅毒污染的第一批人。铅像许多其他矿物和金属一样，能够随着食物或饮料进入人体，或者可随着尘埃颗粒被吸入体内。铅积累在血液及其他组织中，可引起严重的疾病，量大时甚至引起死亡。古罗马人用铅作碗和大小罐的衬里。它还曾用于制作盘子、杯子和汤匙。在某些地区，它还曾用于管道系统中。某些历史学家相信，长期接触铅是古罗马人健康的主要危险。

中世纪，随着各城市的成长，污染的有害影响日益显著。中世纪的欧洲城市曾批准禁止在街上和沟渠中扔垃圾

的法令，但是这些法令很不受重视。16世纪在英国，努力控制用煤，以减少空气中的烟尘——但是也收效甚微。

19世纪，产业革命对于环境施加更大的压力，污染显著地变化和增长。虽然工业发展提高了生活水平，但是以污染为昂贵的代价。

空气污染

工厂和运输工具依靠大量的燃料——全世界每年消耗亿万吨煤和石油。这些燃料燃烧时向大气中排出烟尘及其他更不易看见的副产物。虽然有时风雨冲洗掉发电厂和汽车排出的烟尘，但是空气污染的累积效应对于人类和环境造成严重的威胁。

在很多地方，工厂和汽车排出的烟尘与自然生成的雾相结合而形成烟雾。英国伦敦数世纪以来遭受烟雾的危害，长期被认为是死亡的可能原因，特别是对于老年人和患有严重呼吸失调的人来说。伦敦的空气污染，起因于大规模地使用燃料。（参见：城市，"城市气候"）

约自1950年起，开始普遍认识到空气污染的事实。最早的空气污染发生在洛杉矶地区。洛杉矶盆地大部分被高山围绕。空气下山时被加热，直至聚集成一个暖空气层，笼罩在从太平洋来的较冷空气上方。这就形成了气温逆转，较重的冷空气被限制在地面。污染物也被禁闭在地面高度。由于洛杉矶盆地的气流方式，被污染的空气只能从盆地的一部分流到另一部分。

科学家们相信，所有人口超过50 000的城市，都有一定程度的空气污染。露天垃圾堆的燃烧可引起污染。其他污染源包括燃烧高硫的煤或石油的发电厂所排放的二氧化硫及其他有害气体。工厂中的工业锅炉也向空气中排放大量的烟尘。炼钢和生产塑料的过程所产生的大量烟尘中含有金属粉尘或复杂化合物微粒，有时甚至含有致命的化学品微粒。

空气污染的一个主要原因是汽车的内燃机。汽油在汽车发动机中决不能燃烧完全，正如煤在炼钢厂的燃烧炉中决不能燃烧完全一样。它们一旦排入空气中，则不完全燃烧的产物——颗粒状物质（烟炱、灰烬及其他固体）、未燃烧的烃类、一氧化碳、二氧化硫、氮的各种氧化物、臭氧和铅——在阳光下进行一系列的化学反应。结果生成浓厚的霾状烟雾。这种烟雾如果含有高浓度的二氧化氮，则呈棕色，而当含有大量臭氧时则可呈蓝灰色。长期接触这两种烟雾后，肺组织会受损害。

空气污染的代价很高。美国肺脏协会将吸入二氧化硫列为肺部疾病的第三位原因，仅次于主动吸烟和被动吸烟。空气污染也影响到气喘、支气管炎和肺气肿——一种削弱身体的肺泡病——的发病。

20世纪70年代中期，人们认识到称为酸雨（见：**酸雨**）的现象。来自发电厂的二氧化硫与大气中的水滴相结合后，便作为酸雨或酸雪降落地面。这种雨雪中液体的酸度或碱度，用一种称为pH标度的特殊标度来计量。pH标度是丹麦生物化学家S. P. L. 瑟伦森1909年发明的，用于描述水溶液中带电氢原子的浓度。pH7.0表示该溶液是中性的。pH大于7.0表示该溶液是碱性的；小于7.0表示该溶液是酸性的。正常的雨水具有pH5.5。国家大气研究中心曾记录到美国东北部一次暴风雨的pH为2.1，这是柠檬汁或醋的酸度。在加拿大、斯堪的纳维亚和美国东北部，酸雨因使无数湖泊和河流死亡而受到谴责。这些湖泊吸收了很多酸，因此不再能养活藻类、浮游生物及其他为鱼类提供食物和营养的水生生物。酸雨还破坏建筑物和纪念碑。科学家们关心欧洲、加拿大和美国的森林中无数树木的死亡，认为可能是由酸雨造成的。

空气污染的又一新的讨厌形式，来自一类化合物，称为氯氟碳化合物，英文缩写为CFCs. 这种化合物有多种工业用途，从清洗计算机芯片用的溶剂，到空调器和冰箱中的制冷气体。CFCs与地球高层大气中的其他分子化合。然后本身连接到臭氧分子上，改变和破坏了保护性臭氧层。结果使平流层的臭氧含量急剧下降。臭氧在地平面上是对于我们的肺的威胁，但是在高层大气中却成为一个保护层，可防护太阳的紫外辐射。如果臭氧保护层变得太薄或者消失，则受到的紫外辐射可引起作物枯萎和流行病、皮癌及其他疾病蔓延。1987年末，20多个国家达成协议，限制CFCs的生产，直到最终取消它们为止。

控制空气污染是迄今制定的一些最复杂的和影响深远的法律的目标。1970年美国国会批准了旨在控制空气污染源和制定空气质量标准的法律。数年后，美国国会批准了旨在逐步淘汰在汽油中用铅作添加剂的法律。自1975年起，美国人血液中的平均含铅水平已开始下降。在北美和整个欧洲，继续争论着酸雨的原因。

虽然在大多数国家中，向大气中释放有毒化合物是违法的，但是还有可能发生事故，常带来悲惨的结果。1984年在印度博帕尔有一个杀虫剂厂向空气中释放一种毒气，在数小时内致使2 000多人死亡。

水污染

自有文明以来，早已用水运走不需要的废物。现在把河流、沟渠、湖泊和海洋用做任何种类的污染的接受器。水有能力分解或溶解多种物质，特别是有机化合物，后者在与细菌和酶的长期接触中分解。最终可按此方式分解的废物，称为生物可降解的。它们比金属、塑料及其他氯化烃等更持久的污染物对于环境所造成的威胁时间较短。后一类物质保留在水中，并可使水对于大部分生物有毒。即使是生物可降解的污染物，也能长期破坏水的供应。如有任何污染物积累，则水中的生物开始受害。湖泊特别容易受害，因为它们不能像河流或海洋那样迅速自身净化。

有一种常见的水污染是由于高浓度的氮和磷所引起的后果，氮和磷被植物用于生长。广泛使用含有这些元素的农业肥料和家用洗涤剂，在许多水体中增加了大量的植物所需营养物。大量的氮和磷可使微小的藻类繁茂或者迅速生长。藻类死亡时需要氧将它们分解。这就造成水中缺氧遂引起许多水栖动物死亡。植物迅即使开阔的水面减小。这就加速了湖泊的沼泽化过程，湖泊衰败并最终干涸。

沉积也污染水。这是水土保持不良的后果。沉积可填塞供水水库，并堵塞发电机的涡轮机和灌溉水泵。它还减少透入水中的阳光。没有充足的阳光，则通常向水提供氧

气的水生植物不能生长。

工厂有时向排水道中倾倒油类、有毒化合物及其他有害工业废物，而将它们变成敞口的下水道。在采矿和石油钻井作业中，将腐蚀的酸性废物倾入水中。近年来，已建成一些市区废物处理厂，以与水污染作斗争。但是，有些城镇仍然向河流中排泄污水而使它们受污染。在没有下水道的地方，所用的化粪池和污水池也可污染地下水和附近的河流，有时还携带致病微生物。即使是污水处理厂排出的净化水，如果含有高浓度的氮和磷，也能造成水污染。在某些地区，农田肥料向地下水中增添硝酸盐，使这些水不宜饮用。含有危险的杀虫剂和石油的农田径流、尘垢和融化城市街道积冰所用的化学品，也能污染排水道。

土地和土壤污染

为了养活日益增长的人口，目前的农业方法企图使农田产量最高化。在许多地区，过度使用土地造成表土层流失。这种水土流失转过来又使河流淤泥过多或者产生沉积。

最危险的污染之一来自农药。这些化学药剂旨在抑制或杀死昆虫、杂草、真菌或危害庄稼的啮齿类动物。气载农药随风传送或者被吸收到所保护的水果和蔬菜中，则可成为多种疾病，包括癌症和先天性异常的来源。

农药常设计得可耐雨水，这就是说它们不总是水溶性的，因此可在该环境中长期存在。有些害虫养成了抵抗这些化学药剂的遗传性，使农民不得不增加农药的用量或类型。

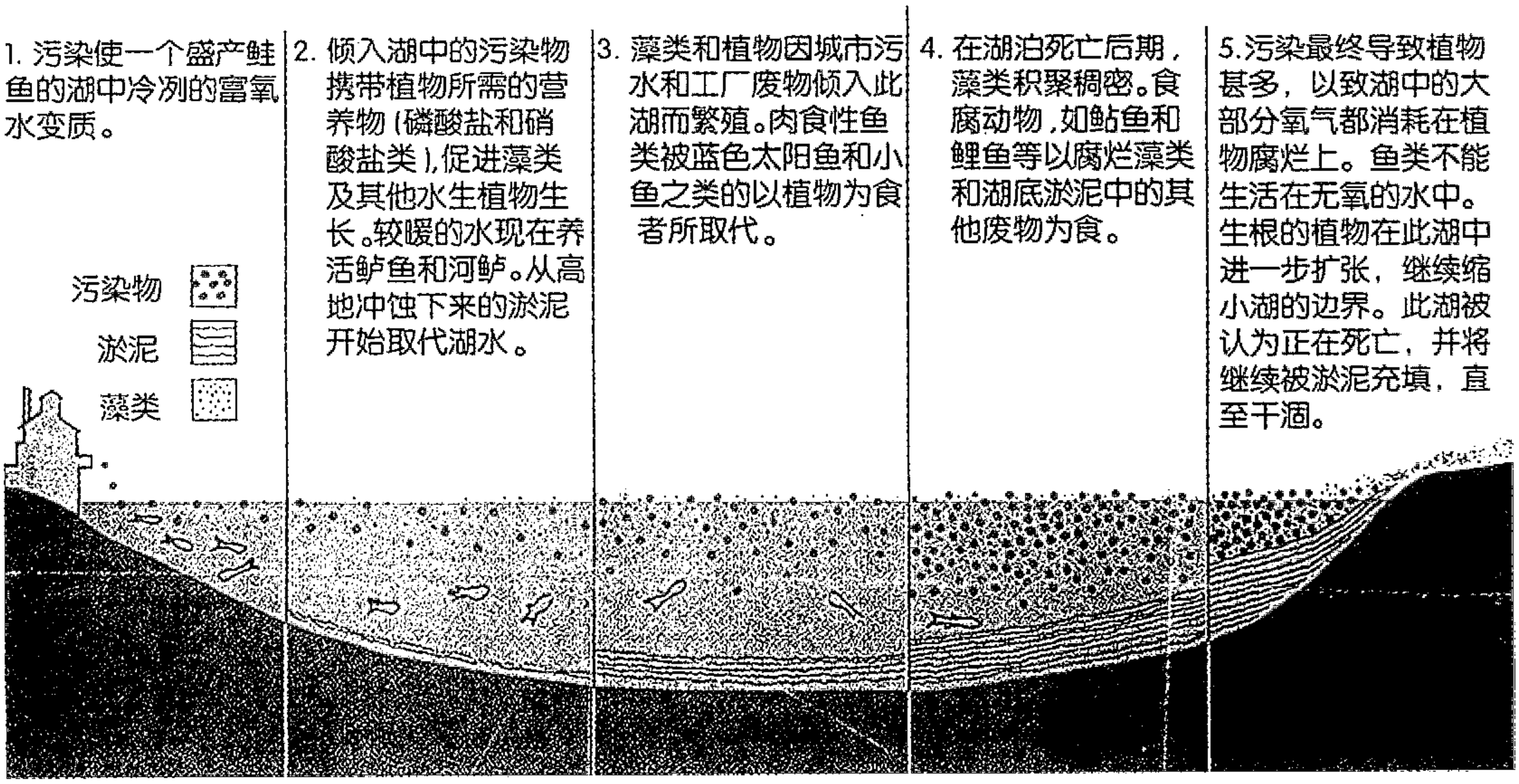
滴滴涕杀虫剂是一个最闻名的例子，用它可说明将合成化合物引入环境中的危险。滴滴涕的化学结构是一种氯化烃，在第二次世界大战后广泛使用了多年。起初对它的评价甚高，因为它减少了全世界疟疾的发生。后来事实证明，滴滴涕的害大于利。滴滴涕像其他化学性质稳定的杀虫剂一样，不易被生物降解。它见于被检测的各种生物的组织中。目前已知滴滴涕影响生理活性。它使海洋浮游植物——形成大多数海洋食物链的基础的一种生物——的光合作用速率降低。

虽然滴滴涕在美国和大多数其他国家均已禁止，但是它在世界的某些地区还在被制造和使用。还有多种农药也被禁止。在某些情况下，还有许多农药仍在使用，它们在农业上的价值可能会抵消它们的危险。

有些市区开始面临一个严重的问题，就是如何处置垃圾和危险的废物，例如溶剂、工业染料和油墨等。许多地区的废渣埋填地已接近满负荷，许多市政当局正在改用焚化作为解决的办法。但是，高温焚化已成为空气污染的又一来源，因为焚化的灰烬有时含有高浓度的金属和二噁英，后者是一类危险的化学毒物。

垃圾问题的一种解决办法是再循环。有些城镇已批准一些法令，鼓励或者要求居民将玻璃瓶罐和铝罐与其他垃圾分开，将前二者熔化而重复利用。虽然轻质钢铁、卡片纸板和纸张也可经济地再循环，但是大多数工业和城市仍然每天都在燃烧或埋掉大量的废金属和纸制品。

污染加速一个湖的死亡



放射性污染物

放射性已经常成为自然环境的组成部分（见：放射性）。天然放射的一个例子就是不断照射到地球上的宇宙射线。这种所谓的背景辐射，对于大多数人影响很小。但是，有些科学家担心，人类已对环境增加了大量的辐射。

自 1945 年 8 月 6 日在日本广岛投下第一颗原子弹后，那里对于核武器和放射性散落物所造成的威胁日益警觉。

许多科学家担心全面核战争对于环境可能造成的长期影响。有人提出，核爆炸中抛向大气中的大量烟尘可能遮蔽太阳的光和热，引起全球温度降低。

即使是核武器试验，也能直接影响环境。这些试验偶尔在地面或海洋上空进行。对于这种试验影响的国际性关注，导致美国、英国和苏联在1963年签订了《禁止核试验条约》。

1986年4月26日，苏联切尔诺贝利核电站发生故障，造成最坏的和平时期核灾难。这次切尔诺贝利事故的许多细节尚未披露，但是已知该核电站的放射性反应堆芯已外露，并有一部分熔毁，释放出大量的放射性物质。因为受到核辐射的医学效应可能在若干年后才显出，所以尚未知这次切尔诺贝利事故增加了多少例癌症、先天性异常和皮肤病。

另一个直接的环境问题是核废物的处置。有些放射性物质的半衰期在10 000年以上，这就是说，它们可保持放射性和高度危险性达千百万年之久。在原子核物理学中，半衰期是一种放射性物质试样中的半数原子衰变所需的时间。科学上尚未找到一种永久性处置高放射性废物的安全方法。即使是暂时储存这些废物，也是一个危险和费钱的问题。正在研究利用地面以下数千米处的盐矿作为废核燃料棒和类似的高放射性物质储藏所的可能性。（参见：核能）

热污染

尽管在寒冷的冬季里热量似乎不可能成为一种污染物，但是在任何季节里水温的增加都对水生生物有影响。向河流和湖泊中人为地增加热量，可采用多种方法。其中之一是砍尽一座森林。然后，原来流经该森林的小溪和河流即暴露在阳光下。它们的温度开始升高。它们流入更大的水体中后，这些水被再次加热。这就可能杀死不耐较高温度的鱼类及其他水生动物。

热污染是人类日益增长的能源需求的一种后果。发电厂燃烧矿物燃料或核燃料以提供能源时，这些燃料释放出相当多的热量。发电厂通常位于它们用来散热的水体附近。纽约哈得孙河的一些支流冬季不再冻结，因为有来自附近发电厂的热水流入该河中。生物——特别是鱼等冷血动物——即使对于平均水温的很小变化也很敏感。由于发电厂增加了水体中的热量，许多水生物的生活环境可能发生极大的变化。在某些事例中，较暖的水可能引起鱼卵在可获得天然食物之前即行孵化。在其他一些事例中，较暖的水可能完全阻止鱼类孵化。

此外，地球表面平均温度的很小变化也能引起深刻的气候变化。有些专家相信，这可能引起格陵兰和南极冰盖融化，而使海平面升高，淹没大面积陆地。

各种燃烧产物——一氧化碳、水蒸气和二氧化碳——释放到空气中，特别是在高空，可影响世界范围的平均温度。由于空气中二氧化碳的正常浓度很低，其任何显著的增多都是潜在的威胁。虽然太阳能在到达地球表面的途中容易通过二氧化碳层，但是从地球散失的一些热量可被大气中增加的二氧化碳所吸收，很像热量被温室圈闭。这种世界范围的温室效应可能使全世界有越来越暖的危险。自19世纪末叶以来，全球平均温度已增加0.3－0.6℃。英国保持的约自1860年创始的官方天气记录中，1990年是全世界最热的一年。（参见：**温室效应**）

噪声污染

生物的听觉器官对于一定的频率范围和声强很灵敏。（见：噪声；声）。声强用分贝来计量。例如，雷鸣的声强为100分贝。120分贝或更高声级的声音使耳朵很难受和受损害。噪声污染正在成为城市生活的一项不愉快的事实，其交通和建筑施工声音的混合，在高层建筑之间反射，造成一种长久的喧声。

此外，有些流行音乐，特别是激烈的金属乐器摇滚乐发出的强大音量，已使少数音乐家及其听众丧失部分或全部听觉。还有一些证据说明，极端的噪声声级可对人体健康和工作效率产生其他的有害影响。

制止污染的努力

解决某些污染问题，需要各个地区、国家和国际间的合作。例如，有些降落在加拿大境内的酸雨，是由美国某些烧煤的发电厂烟囱所引起的。因此，加拿大东部湖泊的复原需要印第安纳州和俄亥俄州各发电设施的合作。

美国已批准一些法律来控制向周围环境排放废物。根据1969年《国家环境政策法》成立的环境保护局（EPA），监督联邦的大部分防治污染举措，该国家环境政策法还授权贯彻环境防治声明，即要求各企业或政府检查对于开办工厂、建筑水坝和开发新油井等活动可能产生的有害影响的解决方法和确认。由于超级油轮的大量漏油，纽约州和新泽西州海岸上医药废物的冲洗和有毒废物的不断积累，一些国际组织如“绿色和平”等日益努力防止破坏环境和提高公众对环境问题的警觉。

清洁空气法、安全饮水法和《1980年综合环境影响、赔偿和责任法》（称为超级基金），是置于那些规定卫生空气和卫生用水和安全处置有毒化学品的标准的法律之中的。1990年G.布什总统签署了《1990年清洁空气法》，它是原有《1970年清洁空气法》以后第二次修订的法律。该新法要求二氧化硫和氮的氧化物的排放量减少一半，车辆排出的一氧化碳减少70％，其他排放物减少20％。EPA监测的有毒化学品种类可能由7种增为250种左右，要求工业采用最好的可能技术来控制它们的废物。同年，加利福尼亚空气资源理事会采用了世界上最严格的车辆排放物控制。到2003年，在加利福尼亚出售的所有新汽车的烃类排放物必须比1993年至少减少70％，到1998年，所有汽车的2％（到2003年则提高到10％）必须排放完全无害的排放物。东北部若干州循此采用了类似而略微放宽的控制。

撰文：John H. Thomas 和 Paul J. Allen

酸雨 ACID RAIN 煤、汽油和燃料油燃烧时向空气中排出硫、碳和氮的氧化物（见：氧）。这些氧化物与空气中的水分化合生成硫酸、碳酸和硝酸。这些酸被雨或

雪带落到地面上，称为酸雨。

20 世纪中，人们认识到空气和酸雨中的酸是对于地球的环境稳定性和质量的一种主要威胁。这些酸大部分见于北半球的各工业化国家——美国、加拿大、日本及东欧和西欧的大多数国家。

酸雨的影响危及多种生物，其中也包括人类。但是它的影响对于湖泊、江河和植物最为显著。水中的酸几乎可杀死所有的生物。到 20 世纪 90 年代早期，已有好几万个湖泊遭到酸雨的破坏。这个问题在挪威、瑞典和加拿大最为严重。

酸雨的威胁不受地理边界的限制，因为盛行风可将这些污染物传播到全世界。例如，有大量的研究倾向于一种结论，即美国中西部的以煤作燃料的各热电站是加拿大东部和美国北部的严重酸雨问题的根本原因。酸雨的破坏作用还不止在自然环境方面。石质、金属和水泥结构也可受损害或破坏。世界上有些巨大的纪念碑，同时还有欧洲的某些大教堂和罗马圆形剧场都呈现出酸雨所造成的破坏迹象。

科学家们用所谓的 pH 值来计量流体溶液的酸度或碱度(见：**酸和碱**)。在由 0 到 14 的标度中，数字 0 代表酸度的最高级，14 是最低级，或称碱。既不含酸，也不含碱或盐基的蒸馏水溶液规定的 pH 等于 7，或称为中性的。雨水的 pH 值如果降到 5.5 以下，则被认为是酸性的。美国东部和西欧雨水的 pH 值常在 4.5 到 4.0 的范围内。

虽然燃烧器、过滤器、化学装置和洗涤装置之类的防污染设备的费用巨大，但是对于环境和人类生命的危害，所损失的价值更高得多，因为这种危险可能是不可逆转的。虽然正在采取预防性措施，但是在 20 世纪末以前，北美遭到破坏的湖泊可达 500 000 个，欧洲遭到破坏的木材可达1.18 亿立方米。

噪声 NOISE

噪声的最简单的定义是“不需要的声音”。但问题接着来了：是谁不需要？少年提着他的手提式立体声放录机沿街走，听他所喜欢的音乐，但其他人可能不喜欢。飞机驾驶员欣赏波音 747 发动机的圆润的嗡嗡声，但是他的飞机飞过别人的房子，个别房主憎恨这样的噪声。靠近铁路的居民，对火车开过的声音已如此习惯，以致很少注意噪声，但来客能被噪声吵昏了头。

普遍认为人对噪声的感觉与声音的性质有关：声音的响度、频率和对它是否习惯或异常。每个人的年龄、感情结构、爱好、信仰和其他因素多多少少地影响了对噪声的厌烦程度。城市居民已习惯于整天的多种声音，对农村的静悄悄感到不安，就如农民对城市的嘈杂一样。经常在噪声环境——例如工厂或航空港——下工作的人可以适应他们听到的噪声，但最终可能因噪声致聋。

噪声测量 大部分噪声存在于城市环境中，如小汽车、货车、公共汽车、飞机、工业操作、造房子、街道维修、空调设备、动力工具、割草机和排雪机、狗吠、收音机、电视机、音响和教堂钟发出的声音。建立对噪声源的鉴定和测度的方法，是人们越来越强烈关心的课题。需要多种测量步骤说明各种噪声的不同性质。基本上有两类评估噪声的方法。一种只测量单一类型的噪声源如飞机所发出的声音。这类步骤已大部分标准化，并用来确立政府的减少噪声的政策。第二种方法是评估曝露在给定地点的全部噪声。噪声环境的描述有助于确定某个地点对多种意向的适应性。(见：**环境污染**)

噪声因子 不论哪一类型的噪声，在描述噪声时都要考虑 5 个因素：响度、频率分布、方向分布、时间分布以及运转状况。

噪声的响度或大小确定噪声的强度，用分贝量度(见：**声音**)。相隔 0.5 米左右的通常谈话，强度约 40 分贝。繁忙的十字路口，货车产生平均值为 75 分贝的噪声。摇摆乐队或工厂锅炉能发出大于 130 分贝的噪声。

声频的高低用赫(兹)度量。人耳并不对全部声频都敏感，所以评估噪声的恼人因子时，必须像知道响度那样知道它的频率范围。

某些噪声在一定方向上要比其他方向强。户外的声音自然顺风传播，且受建筑物阻挡，但城市噪声通常各向都传播。

声源的时间分布可分为 3 类：稳态、起伏和冲击。稳态噪声如空调声，从固定地点发出，并在几个小时内保持常量。起伏噪声包括载货汽车或飞机降落和起飞。冲击噪声源自打桩机、爆炸、汽车的尾火或空气的声震。冲击噪声因出于意外，比起伏噪声更恼人。

对单一噪声源来说，噪声的音质随其机械源的运行情况而变动。汽车发动机在跑动时比空转时声音响。飞机的噪声随它的冲力，喷气速度，螺旋桨和压缩机速率，飞机位置和速率而变动。

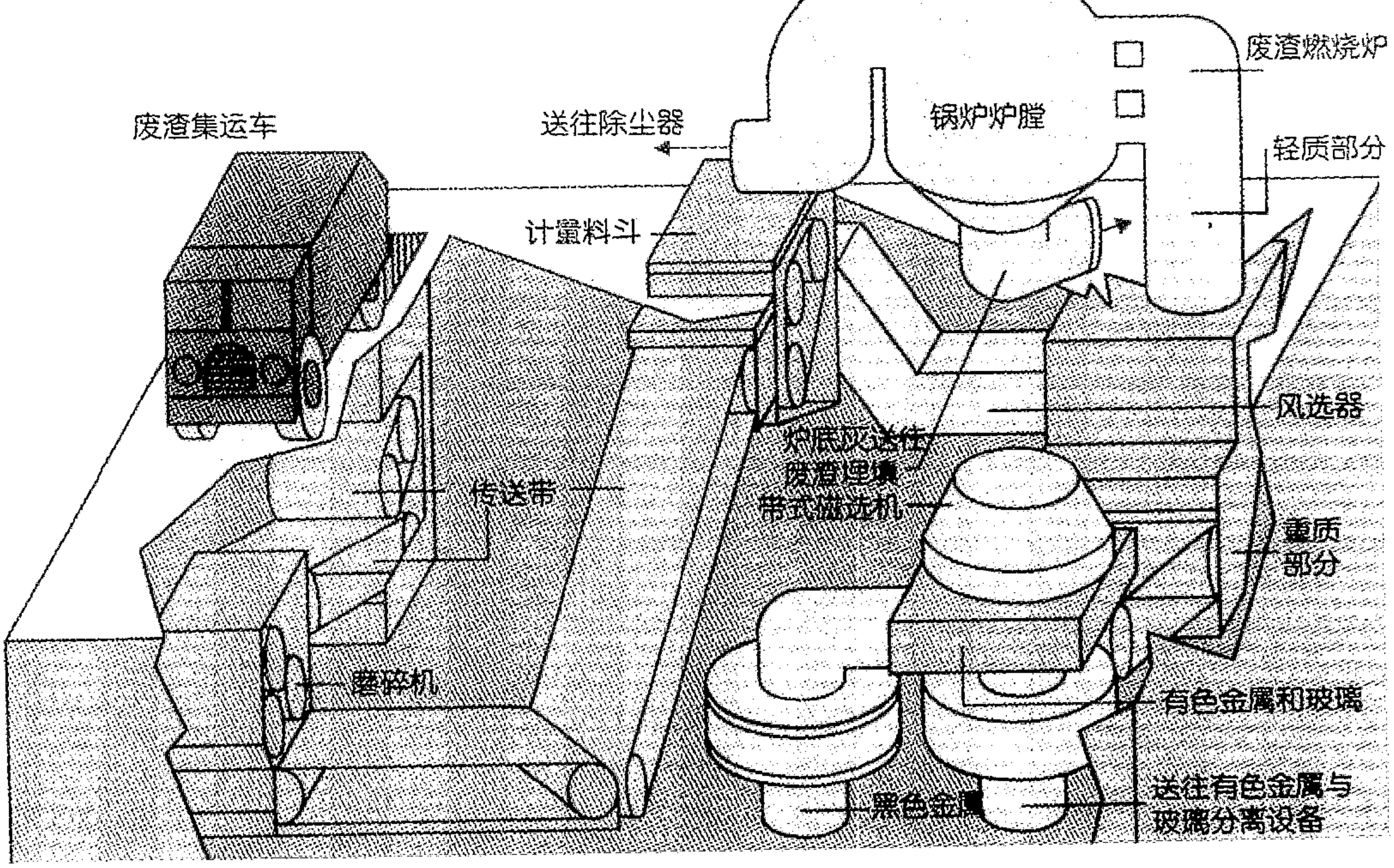
垃圾和废渣的处置 GARBAGE AND REFUSE DISPOSAL

日益增多的生产废物是富裕社会的副产物。工厂在制造过程中产生的废物；矿业和农业产生必须处置的剩余物；日常生活中用过和抛弃的容器和包装材料都成为废物。废渣或固体废物包含固体或半固体物质，有两种主要成分：垃圾或食物废物和废料或不含垃圾的固体废物。废渣与污水的处理不同，后者主要包括含有高比率有机成分的液体废物。

中世纪，垃圾及其他废渣均抛弃在街道或空地上。这种不卫生的做法，为昆虫和啮齿类动物所传播的疾病造成可繁殖的环境。这最终导致欧洲许多地区鼠疫的流行。14 世纪的这种“黑死病”的流行，使一半左右的欧洲人口死亡。尽管重复发生流行病，但是直到 19 世纪中叶，才认识到不正确的废物处置与公共卫生之间的关系，并且制定了控制向水中和地上倾倒废物的法律。

随着工业的增长和生活水平的日益提高，废物的生成量也不断增长。20 世纪 80 年代末和 20 世纪 90 年代初，充斥全美国的所有废渣埋填地的大量塑料布和聚苯乙烯泡沫塑料容器，成为全国公民的关心热点。新的过程，主要是现代化学工业和核工业领域内的过程，也导致产生一些特别危害健康的高毒性废物。

废渣处理装置



现代的废渣处理装置将固体废物进行破碎并将它们分离为各种可重复利用的材料，如钢铁、玻璃和铜等。将这些废渣用传送带送入一台锤碎机或磨碎机中。然后将它们经计量料斗送入一台风选器中，利用空气流分离为轻重两部分。重质部分经一台磁选机分离出来的黑色金属，送往炼钢所用高炉。轻质部分——包含纸张、织物、木材及其他可燃物质——与煤一起燃烧发电。轻质部分燃烧过程中所形成的气体送入一台除尘器中，收集并除去剩余的颗粒，只容许清净的气体排出。剩下的炉底灰作为废渣埋填。

据估计，美国每年约产生 1.60 亿吨废物，或者说每人每天 1.6 千克废物。这约为日本每人所产生废物量的 2 倍。到 2000 年，美国每年的废物量可能达到 1.93 亿吨。(参见：**环境污染**)

废渣的运输和处置分为 3 个阶段：当地存放、运输到处置地和实质性的处置。家庭一般将垃圾存放在垃圾袋或容器内，可经压缩以减小体积。然后将垃圾收集起来，通常加以破碎，经部分压缩后装入专用车中，然后拉到处置场。垃圾也可在与污水系统连通的垃圾处置场中加以磨碎。

一般说，固体废物的处置方法仅有两种：转变为其他物质或必须储放。第一种选择包括焚化、堆肥、再循环或部分回收。储放一般限于陆地储放，但是仍然偶而采取将未受污染的固体废物倾入海中。

焚化

焚化或燃烧可减小废渣的体积并产生可在商业上利用的热量。先将废物进行破碎和磨碎，然后送入焚化炉中。焚化炉最早开发于 19 世纪 80 年代，目前的焚化炉内含炉栅，废渣即置于其上。用往复运动的加料机沿炉栅推动废渣。废渣自下向上燃烧。在 815℃－1 093℃的范围内，可保证几乎完全的燃烧。

在此过程中，产生蒸气、热水和电力，以供应市政或工业用户。这种所谓的资源回收计划，已在美国得到支持，但是它们在丹麦、瑞士、荷兰和瑞典最为成功，从废渣残余物中还可分离出金属，后者与焚化前分离出的物件一起出售。剩余物可用做公路铺设中的填充物或者以卫生方式掩埋处置。焚化广泛用于处理有毒物质。这种高温可将大部分毒物转化为无害的惰性物质。1987 年以来，美国环境保护局(EPA)已要求各焚化炉具备可减少蒸气和除去焚化炉通常所产生灰烬的设备，以减少空气污染。由于这些控制，焚化垃圾的费用增高。

堆肥

含有 75%以上有机物的废物，可用需氧消化法或称堆肥法进行转化。将破碎后的废物经除去所含无机物后送入大罐中，与污水、污泥混合后停留 4 日－6 日。在此期间，需氧或消耗空气的细菌将该废物-污泥混合转化为一种惰性物质，可用做肥料等土壤改良剂或用于制作壁板。这些污泥常用火车或卡车拉到远处的垃圾场进行处置。

堆肥在欧洲很普遍，此法已使某些欧洲国家的废料量

减少 20%。但是,它在美国未得到广泛的采用。有些专家认为,这是由于美国大部分地区的土壤因有机废物含量低而不太适于堆肥。但是,有些业余园丁能将他们的畜栏废物通过在他们的后院里成堆地堆肥而转化为有用的肥料和土壤改良剂。

再循环和回收

由于废渣埋填空间锐减和焚化费用猛增,再循环和回收在北美和欧洲日趋普遍。回收是从废物中分离出来金属和纸张等可利用的物品,将它再次使用或用做工业原料。有些城镇批准一些法令,要求它们的公民分离出来畜栏废物、玻璃、塑料和铝的容器、报纸,以进行再循环,市区堆肥或者回收。日本具有世界上最高的再循环率——它将全部市区废物的 50%进行再循环。在美国,往常难找到再循环产品市场,因为再循环的产品,特别是再循环的纸类产品每每供过于求。然而 EAP 制定了一个目标,要在 1992 年使美国的市区废物再循环率达到 25%。

卫生掩埋

20 世纪初,大部分固体废物的处置是将它们倾倒在其产生处附近的空地上。然后将这些垃圾堆定期地燃烧,以减少有机物含量。不仅其烟尘成为讨厌的东西并危害健康,而且这种无控制的低燃烧温度未消除足够的有机物。仍有传播疫病的动物栖息在大部分垃圾堆中。

对于这些健康危害物的关心,导致卫生掩埋的发展。此法将废物破碎或者压缩到原有体积的$\frac{1}{10}$左右,以形成更均匀的混合物。然后每天将它消毒、压缩和装入小室内,用土掩埋。最近建造的小室通常衬有塑料衬里和压实黏土层,以减少含有毒化学品的雨水漏入掩埋土层下面的土壤。

专家们已测定,美国的 6 500 个市区废渣埋填地的$\frac{1}{3}$将在 20 世纪 90 年代中期达到满负荷。但是,增加新的废渣埋填地遭到环境保护工作者和当地周围居民的强烈反对。例如,有证据证实,倾入废渣埋填地的可生物降解的物质,即使经过数十年后,也无显著分解。其次,开辟距市中心很远的废渣埋填地则加大废物运输的费用。

有毒物质

直到最近才认识到,即使是小量未适当处置的有毒化学品也可能有危险。不论什么地方,凡是危险的废物都应当用化学方法加以处理,以消除其有毒成分,或者进行焚化以使该化学品变为无害。否则,则要求制定特殊的防污染和处置计划,以保证当容器腐烂后这些化学品不能进入大气或地下水中。在美国,EPA 有责任制定和执行适当的规章。有许多剩余的化学品废物堆仍然保持着危险性。它们需要加以纠正,但是费用很高。

已开发出特殊的方法来容纳放射性废物,其中包括将稀释后的废物包埋于可耐地下化学腐蚀千百年的玻璃状物质和容器中。虽然这种技术适用,但是大多数人自然不愿意接受附近的放射性废物堆,从而使实际处置这种废物成为争论不休的问题。

另一个废物问题来自煤和金属矿石的露天开采。小块的剩余残渣(尾矿)暴露在大气中时,有毒化学品可能逸出并进入地下水中。这又要求在环境保护上采取特别的预防措施。(参见:**有毒废物**)

有毒废物 WASTE, TOXIC

人类活动中所产生的不需要的有毒副产物。有毒废物出自多种来源。例如,大气污染是由汽车、发电站和焚化炉所引起的(见:**环境污染**)。酸雨是在矿物燃料燃烧放出的硫、碳和氮等的氧化物与空气中的水分化合生成危险的酸类时产生的(见:**酸雨**)。丢弃的工业溶剂中有苯和四氯化碳等低分子量物质和 PCBs(多氯联苯)等高分子量有机物质,PCBs 过去用于液压流体、变压器和电容器中,二噁英是制造除草剂中不需要的副产物。开采铜或银矿时的重金属矿渣可污染地下水或河流和湖泊,并逐渐富集在鱼类中。放射性废物是由核动力反应堆和核武器产生的,同时小量的是由工业上和医疗上应用放射性同位素而产生的。(参见:**核能**)

有毒废物的影响

1981 年美国共产生 2.64 亿吨废物——其中约有 550 万吨被认为是危险的。1986 年美国产生约 50 000 立方米低放射性固体和液体废物。

许多有毒废物可危害人类、动物或植物。经常接触油漆和汽油中的铅,可导致神经紊乱。有机的有毒废物可导致肝炎和肾炎。另一些,例如 PCBs 则可能引起先天性异常。某些有机物质,例如苯已知可引起实验动物的癌症,并列为人体的可能致癌物。中等数量的铜、银及其他重金属对于藻类的生长有害。

有些有毒废物可导致生态不平衡。例如,杀虫剂滴滴涕(二氯二苯三氯乙烷)几乎消灭了美国的白头海雕种群并减少了许多其他鸟类的头数。它破坏了这些鸟类长出足够坚硬的蛋壳以确保孵化率。由于滴滴涕对鸟类头数的威胁,美国在 1972 年实行了使用它的严格限制。还有其他的法律要求降低汽油中的含铅量和停止生产多氯联苯。滴滴涕因对传播疟疾的蚊虫有效而仍在发展中国家里使用。

处理和处置

根据废物类型的不同,有毒废物可用化学方法、生物方法或燃烧方法进行处理。例如,散落的酸可用石灰或碳酸氢盐进行处理,以将酸中和。海上泄漏的石油常用乳化剂进行处理,以将油分散在水中,从而减轻对海滩和野生生物的影响。对于有毒废物有效的生物处理方法仍在开发中。尚未发现可耐毒性并在不长的时间内使有毒废物降解的生物,但是遗传工程的进展可能改变这种情况。

燃烧及其他高温处理是用于降低废物毒性的主要方法。等离子体技术等方法已用于处理有毒废物。这些方法利用高温使空气与燃料气体的混合物电离。废物中热的有毒气体与这些电离气体反应时分解成为相对无害的成分。经过温度在 900℃以上的等离子体处理,可使二噁英蒸气等

排放气体的毒性，比通常的燃烧处置法所得结果降低到约$\frac{1}{10}$。

液体废物的焚化，是美国主要采用的处理有毒废物的方法。它通常包含将废物以小滴的形式喷入燃烧器中。还可使用一种固定床焚化法，可处理液体和固体废物。将这些废物分为两个阶段处理。先将它用不足的空气进行部分燃烧，然后再在更高的温度下用过量空气进行燃烧，以破坏第一阶段中释放出的气体。

其他广泛使用的方法还有在回转窑中焚化。它可用于处理固体、液体、二者的混合物（泥浆）和容器内的废物。有些危险的废物直接用做工业锅炉或水泥窑中的燃料而处置掉。

液体有毒废物必须在处置前暂时存放。钢桶用于短期储存。长期储存则常要求使用玻璃或陶瓷等较难腐蚀的材料。美国不再准许使用海洋倾倒法和废渣埋填法来处置危险废物。

在美国，含钚和铀的高放射性核废物被送往后处理工厂或者储存在该核反应堆所在地附近，以待处置。近年来开发出一种处置方法，称为玻璃化，是将核废物包埋于可稳定几千年以上的玻璃状物质中。然后将这些耐腐蚀块储藏在地下盐矿或稳定岩层中。玻璃化法在法国已高度发展，其核能广泛用于发电。在美国，低放射性废物目前常将体积大大压小后再储放在3个州——南卡罗来纳、内华达和华盛顿——内。有些低放射性废物也进行焚化。

在美国，环境保护局（EPA）制定了高温分解有毒废物的效果标准和合格要求。目前焚化的标准要求至少除去废气中99.99%的有主要危险的有机成分和99%的氯化氢。关于焚化过程中排放出的固体颗粒（粉尘和灰烬）另有标准。放射性废物由EPA、能源部（DOE）和核管理委员会（NRC）管理。各州对本州的废物负责，并鼓励各处置设施之间的州际合作。加拿大的废物管理由环境部监督，原子能管理局管理放射性废物。

撰文：Erik R. Christensen

墨卡托 MERCATOR, Gerardus

（1512－1594） 世界平面图常常用一种名为墨卡托投影法的方法绘制。这种地图就以墨卡托的名字命名。墨卡托是16世纪第一流地理学家。

墨卡托于1512年3月5日生于（现比利时）佛兰德省的鲁贝尔蒙德。他最早就读于塞托肯波的共同生活兄弟会经办的一所学校。此后，进入卢万大学，于1532年毕业，获硕士学位。两年后，他的兴趣转向地理学。他攻读了天文学、地理学，并向当时低地国家中最有影响的数学家吉马学习了数学。墨卡托还学习了版画、书法和仪器制造技术，所有这一切才干，后来他都有效地用于制图事业中。1537年起，他编制了一系列地图和一部斜体字印刷的书。1544年他被指控为宗教异端而被捕。为了申诉，他花了几个月时间，他的工作因此而中断。

为了继续工作免受官方的干扰，他移居于杜伊斯堡（现在德国境内）。就在这里，他于1569年运用了圆柱投影方法编制了一张世界地图，并因此而闻名于世。他采用的是直线图，航海者可不必频繁转换罗盘而操纵远距离航向。墨卡托梦寐以求的是出版一部能首创世界历史的地图册。命名为《地图集》的第一册图集于1569年出版了。它包含的资料年表为从创世到1568年。第二册是由古希腊地理学家托勒密设计的，收入了27幅地图。墨卡托于1594年12月2日去世。《地图集》的最后一册由他的儿子于1595年出版。

赫顿 HUTTON, James

（1726－1797） 苏格兰科学家赫顿创立了地质学中的一个基本理论即均变论。这一理论认为，组成地球的各种岩石是在一个很大的时段内，由于各种自然作用而形成的。尽管这一理论在那个时代曾受到强烈的抨击，但现在它已成为现代地质学的奠基石了。

赫顿于1726年6月3日生于苏格兰爱丁堡。他在研究地质学之前，从事于化学、法学、医学和农业。他和戴维一起利用煤灰制造工业用的氯化铵，取得了进展。

他用制造氯化铵挣得的钱买下了一个农场，经营了几年。他一边经营农业，一边研究岩石和自然过程的效应，像雨、流水、潮汐和火山等对地球发展的作用。1785年，他向爱丁堡皇家学会提交了两篇关于他的均变论的论文，直到那时，他的理论尚未引起重大注意。1788年这两篇论文发表；1795年《地球的理论》两卷书出版，第三卷书一直写到他1797年3月26日在爱丁堡去世。

洪堡 HUMBOLDT, Alexander von

（1769－1859） 与拿破仑同时，洪堡是19世纪上半世纪欧洲最有名的人物之一。他是一位德国的学者和勘探者，他的兴趣几乎囊括了所有自然科学和物理科学。他奠定了现代自然地理学、地球物理学和生物地理学；他推动了科学的普及。他对地球磁场的兴趣促使他在世界各处的英国领地上建立起长期观测站，这是国际科学合作的最早实例之一。洪堡的气象资料为比较气象学作出了贡献。南美洲西岸边的洪堡海流（现称秘鲁海流）是以他的名字命名的。

洪堡于1769年9月14日生于德国（当时为普鲁士）柏林。他和他的兄弟威廉早年在家乡求学（威廉最后成为欧洲最知名的语言学家和教育改革家）。洪堡起初是一个贫苦的学生，有若干年生活没有着落。后来，植物学引起了他的兴趣，再后，是地质学和矿物学引起了他的兴趣。他求读于格丁根大学和萨克森矿业学校。1792年他在普鲁士政府的矿业部得到了一个职位。他做了大量工作，改善了矿山安全保护并发明了矿灯；他为青年矿工开办了技术学校。他一直认为，他的生活目标是科学勘探。

此后，洪堡的生涯可以分为三段：南美探险（1799－1804）；巴黎谋职，在巴黎他组织并发表了积累起来的探险资料（1804－1827）；晚年，大部分时间在柏林度过。西班牙政府允许他去中南美洲探险。去这个鲜为人知的地区进行科学探险是大有可为的。由法国植物学家艾梅作伴，洪堡的探险行程达9 650千米，有时步行，有时骑马或乘独木舟。

这次探险之后，洪堡来到美国并受到杰斐逊总统的接见。

洪堡和艾梅带回了大量植物资料、经纬度资料、地磁资料和气候资料。在柏林稍作访问和到意大利短暂观察维苏威火山之后，他便定居在巴黎，整理了南美考察 30 卷成果。

经普鲁士国王执意要求，洪堡又回到了柏林。他为各界人士讲了自然地理课；他组织了国际科学会议。1829 年，他周游俄罗斯，到达西伯利亚，直到中国边境。最后 25 年主要致力于他的《宇宙》一书的写作，这在已经发表的科学著作中是最有气魄的一部。在这一著作中他提出了总体的宇宙观。这部书，他写到第五卷，直到 1859 年 5 月 6 日在柏林去世。

莱伊尔 LYELL, Charles (1797－1875)

地质学中的丰功伟绩应属于英国地质学家莱伊尔。早在 19 世纪，莱伊尔首创了现代地质学至今赖以作为基石的地质学的各种理论、方法和原理。莱伊尔的主要贡献在于他证实了地球表面的各种特征是自然力长期作用造成的。他的强有力的论点是，地壳是亿万年活动的产物，从而排除了以《圣经》记载为基础的或以周期出现的自然灾变论为依据的各种非科学的解释。莱伊尔在地质学中的成就也为进化论生物学打下了基础；这个领域是由莱伊尔的一位年轻朋友达尔文后来作了更完善的发展。

莱伊尔于 1797 年 11 月 14 日生于苏格兰东部，在英国索斯安普郡附近成长。1819 年毕业于牛津大学，后又在伦敦学习法律。但是，他却成了一位地质学的爱好者，一名地质工作者。随着年龄的增长，他越来越多地把时间投入这一爱好的追求。他在不列颠诸岛，在欧洲大陆和在美国进行地质考察。1830 年，他的《地质学原理》一书的第一卷出版。过了 8 年，《地质学基础》一书出版。科学家们认为这是两部开创性的著作，并为此而向莱伊尔欢呼祝贺。他被公认为地质学领域中的一个杰出的学者。1848 年莱伊尔被封为爵士。

由于 1859 年达尔文的《物种起源》的发表，莱伊尔的著作便显得相形见绌，甚至他的同事也这样认为。但是，达尔文在其著作的基础中引用了莱伊尔著作的大量资料。莱伊尔后来继续坚持他的研究。他的著作的修改本直到他 1875 年 2 月 22 日去世后，才在伦敦发表。他被安葬在威斯敏斯特修道院。

莫里 MAURY, Matthew Fontaine (1806－1873)

美国海军军官、水文地理学家。莫里是海洋学奠基人之一。在南北战争期间他还领导了南部邦联的海岸和港口防卫工作。1806 年 1 月 14 日出生于弗吉尼亚州斯波特瑟尔韦尼亚郡。1825 年入海军，航行了全世界(1826－1830)。1842 年任海图和仪器仓库主管，收集了海风和海流的资料。根据舰长们的航海日记，他绘制了用于缩短航程的航海图。莫里的工作受到在比利时的布鲁塞尔召开的第一届国际海洋会议的关注。由于国际支持，他编制了大西洋、太平洋和印度洋的海图。他编制的大西洋海底图，为铺设横贯大西洋的电报电缆的可行性提供了证据。

在南北战争期间，莫里领导了南部邦联海军的海岸、港口和河流的防卫工作。战后，莫里去墨西哥，会见了墨西哥国王马克西米连，国王建议莫里在墨西哥建立一支南部邦联的移民队。当国王放弃这个计划时，莫里去英国暂居。1868 年回美国之后，莫里成为弗吉尼亚军事学院的气象学教授。在这里他一直工作到去世。1873 年 2 月 1 日他卒于弗吉尼亚州列克星敦。

鲍威尔 POWELL, John Wesley (1834－1902)

美国地质学家和人种学家。鲍威尔领导了落基山脉地区的地质调查，促进了西部土地的保护。他的关于印第安语言的知识和分类使他成为一位引人注目的人类学家。

鲍威尔于 1834 年 3 月 24 日生于纽约州的芒特莫里。他的父母亲是英国移民，是俄亥俄、威斯康星、伊利诺伊和堪萨斯边区的卫理公会教徒。鲍威尔的童年生活感受，后来帮助他理解西部居民问题。在南北战争服役退伍之后，他成为伊利诺伊州卫斯利大学地质学教授和伊利诺伊师范学院(现为伊利诺伊州立大学)讲师和博物馆馆长。

1867 年他领导了落基山脉和格林河、科罗拉多河河谷的第一批勘查工作。鲍威尔系统地阐明了构造地质学中的许多基本原理。他极力说服当时政府去实施以他在 1871－1879 年所作的公有土地的地质和地理调查为依据的土地利用规划。他的公开出版的主要著作有《西部科罗拉多河及其支流的考察》(1875 年发表，1895 年再版，题目为《科罗拉多大峡谷》)、《印第安语言学导论》(1877 年)。1879 年鲍威尔成为斯密森学会美国人种学研究所所长(直到去世)并继续研究印第安人文化和语言。1881－1894 年他任美国地质调查所所长。1902 年 9 月 23 日于缅因州哈文逝世。

缪尔 MUIR, John (1838－1914)

美国博物学家、探险家和作家。由于缪尔的工作，美国国家公园系统得到了巨大的发展。1903 年，他同罗斯福总统到约塞米蒂地区野营旅行。总统为缪尔热爱自然的情感所感动。在罗斯福总统继承者执政期间，有 6 000 万公顷的地区，被划为森林自然保护区；有 16 个山林自然保护区包括建立加利福尼亚的缪尔森林保护区；自然公园的数目也成倍增加。

缪尔于 1838 年 4 月 21 日生于苏格兰的邓巴。1849 年他们的家迁至美国，在威斯康星州波蒂奇附近的一个农场落户。缪尔就读于威斯康星大学，但离开学校时没有得到学位，因为他只学了他喜爱的科目——化学、地质学和植物学。

1867 年他在一只眼睛受伤几乎失明之后，从印第安纳波利斯(他曾在这里一家车辆工厂工作)全程步行来到墨西哥湾。在约塞米蒂山谷他独自一人生活了 6 年，在那里他勘察了内华达山脉的冰川和森林。在阿拉斯加他发现了冰川湾，这个大冰川后来以他的名字命名。

1880 年结婚以后，他把 10 年时间献给他的加利福尼亚大果园。他在培育植物、改良果品和花卉品种上作出了奉献，取得了许多成绩，因而使他能自由地旅行和写作。1890

年缪尔在红杉国家公园和约塞米蒂国家公园的建设中，负主要责任。1914 年 12 月 24 日在洛杉矶逝世。

魏格纳　WEGENER，Alfred（1880－1930）　1912 年德国气象学家魏格纳提出，在地质历史的大部分年代里，只存在一块大陆（他把它称为联合古陆，或称为“全陆”）和一个大洋（他把它叫做“联合大洋”，或叫做“全海”）。他的理论是著名的大陆漂移说。他根据大量的地质和古生物资料提出假说，认为在侏罗纪，联合大陆分裂，分裂的各个陆块彼此离开、漂移。（参见：**大陆；地球；地质学**）

魏格纳于 1880 年 11 月 1 日生于德国柏林。他是一个孤儿院院长的儿子。1905 年在柏林大学获天文学博士学位。在这期间，对气象学和地质学发生兴趣。他 4 次去格陵兰考察，并成为这个地区深思善断的专家。1908 年至 1912 年他在马尔堡物理学院任教。他还假说，月球环形山的升高，与其说是因为火山活动，倒不如说是因为陨石碰撞造成的。他的大陆漂移说理论于 1915 年公布，自 1919 年至 1928 年，轰动世界，并引起论战。魏格纳是在他最后一次考察格陵兰时，于 1930 年 11 月去世的。他的理论在他去世后 20 年，随着古地磁新科学的发展而被接受。

汉 语 拼 音 索 引

A

阿贝尔 …… 85
阿波罗尼奥斯 …… 82
阿尔文 …… 349
阿耳瓦雷茨 …… 223
阿基米德 …… 82
爱因斯坦 …… 218
安培 …… 212
氨基酸 …… 281
奥本海默 …… 221

B

八月 …… 346
巴贝奇 …… 85
巴丁 …… 222
巴斯德 …… 283
摆 …… 209
班纳克 …… 84
斑脱岩 …… 398
板块构造学 …… 384
半导体 …… 129
半岛 …… 429
半球 …… 381
鲍林 …… 285
鲍威尔 …… 509
本生 …… 282
苯 …… 272
冰 …… 134
冰川 …… 387
冰期 …… 384
冰山 …… 388
玻尔 …… 218
铂 …… 267
布尔 …… 86

C

草原 …… 410
测量 …… 474
超声 …… 224
超新星 …… 327
朝永振一郎 …… 221
潮汐 …… 444
城市 …… 493
乘法 …… 36
赤道 …… 381
醇 …… 272
磁体和磁学 …… 178
催化剂 …… 281

D

大裂谷 …… 402
大陆 …… 402
大气 …… 446
代数 …… 38
氮 …… 253
岛屿 …… 429
等离子体和等离子体物理学 …… 95
低温学 …… 143
狄拉克 …… 220
笛卡儿 …… 82
地球 …… 351
地球科学 …… 350
地球仪 …… 482
地图和地球仪 …… 475
地外生命 …… 334
地震 …… 389
地质学 …… 382
第四维 …… 203
蒂拉克 …… 87
碘 …… 258
电 …… 168
电化学 …… 235
洞穴 …… 408
度量 …… 17
度量衡 …… 22
对数 …… 38
多氯化联苯 …… 274
惰性气体 …… 244

E

二氧化硫 …… 257
二氧化碳 …… 251
二月 …… 346

F

法拉第 …… 212
钒 …… 265
反物质 …… 107
范艾伦 …… 350
范德瓦耳斯 …… 214
方位 …… 488
放射性 …… 189
费马 …… 83
费米 …… 220
分数(普通分数和十进分数) …… 36
分析化学 …… 230
分子 …… 107
风 …… 465
风暴 …… 471
风洞 …… 210
弗雷格 …… 86
氟 …… 244
氟碳化合物 …… 252
辐射 …… 182
腐蚀 …… 281
傅里叶 …… 84
富兰克林 …… 223

G

伽利略 …… 347
钙 …… 247
盖耳-曼 …… 224
概率 …… 65
干旱 …… 474
高斯 …… 85
高原 …… 405
哥白尼 …… 346
哥德尔 …… 88
镉 …… 262
铬 …… 265
汞 …… 262
谷 …… 408
钴 …… 267
固体 …… 127
固体物理学 …… 95
光 …… 145
光谱和分光镜 …… 157
光学 …… 144
硅 …… 252
国际日界线 …… 486

H

哈恩 …… 284
哈雷 …… 348

哈密顿 …… 213
海底观察员 …… 444
海森伯 …… 220
海市蜃楼 …… 444
海滩和海岸 …… 441
海洋 …… 438
海洋波和潮汐 …… 442
海洋学 …… 429
亥姆霍兹 …… 213
氦 …… 244
河流 …… 424
核能 …… 116
赫顿 …… 508
赫歇耳 …… 349
赫兹 …… 216
黑洞 …… 328
亨利 …… 212
恒星 …… 322
红外辐射 …… 195
虹 …… 463
虹吸管 …… 133
洪堡 …… 508
湖泊 …… 428
花岗岩 …… 398
华伦海特 …… 212
化学 …… 225
化学分析 …… 230
化学元素 …… 240
怀特海 …… 87
环境 …… 224
环境污染 …… 501
荒漠 …… 411
回声 …… 168
彗星 …… 321
惠更斯 …… 83
火 …… 141
火山 …… 391
霍普金斯 …… 284
霍奇金 …… 285

J

激光器和微波激射器 …… 199
极光 …… 319
几何学 …… 52
计算器 …… 80
季节 …… 344
甲醇 …… 274
甲醛 …… 274
钾 …… 246
间歇泉和喷气孔 …… 423
减法 …… 36
碱金属 …… 245
碱土金属 …… 246
降雨 …… 460
胶体 …… 134
金斯 …… 217
晶体 …… 129
九月 …… 346
居里一家 …… 216
飓风 …… 471
聚合物 …… 275

K

卡西尼 …… 348
开尔文勋爵 …… 213
开普勒 …… 347
坎农 …… 349
康普顿 …… 219
康托尔 …… 86
柯尔莫哥洛夫 …… 88
科瓦列夫斯卡娅 …… 86
科学 …… 1
科学领域 …… 12
空气 …… 134
控制论 …… 16
夸克 …… 106
矿物 …… 398

L

垃圾和废渣的处置 …… 505
拉格朗日 …… 84
拉马奴金 …… 88
拉曼 …… 219
拉普拉斯 …… 84
拉瓦锡 …… 282
莱伊尔 …… 509
朗道 …… 222
雷恩 …… 348
镭 …… 247
类星体 …… 327
离子 …… 240
黎曼 …… 86
李比希 …… 282
力学 …… 203
历法 …… 343
炼金术 …… 282
量子力学 …… 209
磷 …… 255
流星和陨石 …… 319
硫 …… 256
硫酸 …… 257
六月 …… 346
卢瑟福 …… 217
卤素 …… 258
铝 …… 248
绿洲 …… 413
氯 …… 258
氯仿 …… 274
伦琴 …… 214
罗马数码 …… 71

M

马赫 …… 214
迈克耳孙 …… 215
迈特纳 …… 217
麦克斯韦 …… 214
脉冲星 …… 327
梅耶夫人 …… 221
镁 …… 247
门捷列夫 …… 284
锰 …… 266
米切尔 …… 349
米制 …… 22
命数系统和数 …… 66
缪尔 …… 509
摩擦 …… 138
莫里 …… 509
墨卡托 …… 508
钼 …… 266
穆斯堡尔 …… 224

N

钠 …… 245
能量 …… 110
铌 …… 265
年 …… 344
镍 …… 267
牛顿 …… 211
纽科姆 …… 349

O

欧几里得 …… 81
欧拉 …… 84
欧玛尔·海亚姆 …… 346

P

帕斯卡 …… 83
庞加莱 …… 87
泡利 …… 220
普朗克 …… 216
普里斯特利 …… 212
瀑布 …… 426
瀑布线 …… 427

Q

七月 …… 346
气候 …… 448
气溶胶 …… 473
气象学 …… 446
铅 …… 253
氢 …… 244
全息术 …… 161
泉 …… 423

R

热 …… 138
热力学 …… 138
溶剂 …… 239
溶液 …… 239
熔岩和岩浆 …… 397

S

萨根 …… 350
萨哈罗夫 …… 223
三角学 …… 59
三角洲 …… 425
三月 …… 346
沙 …… 401
山 …… 406
闪电 …… 464
砷 …… 256
渗透作用 …… 137
声学 …… 162
声音 …… 164
施泰纳 …… 85
十二月 …… 346
十一月 …… 346
十月 …… 346
石灰岩 …… 398
时间 …… 340
食 …… 317
数学 …… 27
霜 …… 463
水 …… 415
斯旺 …… 214
四月 …… 346
塑料 …… 276
酸和碱 …… 240
酸雨 …… 504
算盘 …… 79
算术 …… 32

T

太阳 …… 304
太阳能 …… 116
太阳系 …… 299
钛 …… 264
钽 …… 265
碳 …… 249
碳水化合物 …… 275
汤川秀树 …… 221
汤姆森 …… 215
特勒 …… 222
天气 …… 453
天文爱好者活动 …… 339
天文馆 …… 338
天文台 …… 336
天文学 …… 286
铁 …… 266
同位素 …… 224
铜 …… 259
统一场论 …… 225
透镜 …… 160
图和图表 …… 72
土星 …… 320
托勒密 …… 346

W

万有引力 …… 108
微波激射器 …… 201
微积分学 …… 62
维纳 …… 88
伪科学 …… 17
纬度和经度 …… 482
魏格纳 …… 510
温室效应 …… 459
钨 …… 266
无机化学 …… 237
吴健雄 …… 223
五月 …… 346
物理化学 …… 232
物理学 …… 88
物质 …… 96
雾 …… 463

X

西博格 …… 286
希尔伯特 …… 87
硒 …… 258
锡 …… 252
峡谷 …… 407
夏令时 …… 346
夏特莱 …… 83
相对论 …… 201
硝酸 …… 255
小行星 …… 320
锌 …… 261
新开拓地 …… 375
信息论 …… 14
星期 …… 346
星系 …… 328
星座 …… 331
行星 …… 307
玄武岩 …… 397
薛定谔 …… 219
雪 …… 462

Y

岩石 …… 394
盐酸 …… 258
颜色 …… 152
杨振宁 …… 223
氧 …… 256
液晶 …… 133
液态空气 …… 134
液体 …… 133
一氧化碳 …… 251
一月 …… 345
银 …… 261
荧光 …… 162
尤里 …… 285
铀 …… 262
有毒废物 …… 507
有机化学 …… 268
宇宙 …… 331
宇宙线 …… 328
宇宙学 …… 328
元素 …… 242
原子核物理学 …… 93
原子粒子 …… 101
月 …… 345
月球 …… 313
云 …… 459
云母 …… 402

Z

噪声 …… 505
占星术 …… 335
沼泽 …… 414
真空 …… 107
周期表 …… 242
紫外辐射 …… 195
自流井 …… 424

汉语笔画索引

一画

一月 …… 345
一氧化碳 …… 251

二画

二月 …… 346
二氧化硫 …… 257
二氧化碳 …… 251
十一月 …… 346
十二月 …… 346
十月 …… 346
七月 …… 346
八月 …… 346
几何学 …… 52
九月 …… 346
力学 …… 203

三画

三月 …… 346
三角学 …… 59
三角洲 …… 425
干旱 …… 474
土星 …… 320
大气 …… 446
大陆 …… 402
大裂谷 …… 402
万有引力 …… 108
山 …… 406
门捷列夫 …… 284
小行星 …… 320
马赫 …… 214

四画

开尔文勋爵 …… 213
开普勒 …… 347
天气 …… 453
天文台 …… 336
天文学 …… 286
天文爱好者活动 …… 339
天文馆 …… 338
无机化学 …… 237
元素 …… 242
云 …… 459
云母 …… 402
五月 …… 346
太阳 …… 304
太阳系 …… 299
太阳能 …… 116
历法 …… 343
尤里 …… 285
牛顿 …… 211
气候 …… 448
气象学 …… 446
气溶胶 …… 473
化学 …… 225
化学元素 …… 240
化学分析 …… 230
反物质 …… 107
分子 …… 107
分析化学 …… 230
分数(普通分数和十进分数) …… 36
月 …… 345
月球 …… 313
风 …… 465
风洞 …… 210
风暴 …… 471
六月 …… 346
方位 …… 488
火 …… 141
火山 …… 391
计算器 …… 80
巴丁 …… 222
巴贝奇 …… 85
巴斯德 …… 283
水 …… 415

五画

本生 …… 282
石灰岩 …… 398
布尔 …… 86
卡西尼 …… 348、
占星术 …… 335
卢瑟福 …… 217
甲醇 …… 274
甲醛 …… 274
电 …… 168
电化学 …… 235
四月 …… 346
代数 …… 38
玄武岩 …… 397
闪电 …… 464
半导体 …… 129
半岛 …… 429
半球 …… 381
弗雷格 …… 86
对数 …… 38

六画

地外生命 …… 334
地图和地球仪 …… 475
地质学 …… 382
地球 …… 351
地球仪 …… 482
地球科学 …… 350
地震 …… 389
西博格 …… 286
有机化学 …… 268
有毒废物 …… 507
夸克 …… 106
迈克耳孙 …… 215
迈特纳 …… 217
托勒密 …… 346
光 …… 145
光学 …… 144
光谱和分光镜 …… 157
同位素 …… 224
回声 …… 168
年 …… 344
伦琴 …… 214
华伦海特 …… 212
伪科学 …… 17
自流井 …… 424
行星 …… 307
全息术 …… 161
多氯化联苯 …… 274
亥姆霍兹 …… 213
米切尔 …… 349
米制 …… 22
汤川秀树 …… 221
汤姆森 …… 215
宇宙 …… 331

宇宙学 …… 328
宇宙线 …… 328
安培 …… 212
冰 …… 134
冰山 …… 388
冰川 …… 387
冰期 …… 384
红外辐射 …… 195

七画

麦克斯韦 …… 214
赤道 …… 381
坎农 …… 349
声学 …… 162
声音 …… 164
汞 …… 262
花岗岩 …… 398
极光 …… 319
杨振宁 …… 223
李比希 …… 282
卤素 …… 258
吴健雄 …… 223
时间 …… 340
低温学 …… 143
伽利略 …… 347
希尔伯特 …… 87
谷 …… 408
狄拉克 …… 220
岛屿 …… 429
亨利 …… 212
怀特海 …… 87
间歇泉和喷气孔 …… 423
沙 …… 401
阿贝尔 …… 85
阿尔文 …… 349
阿耳瓦雷茨 …… 223
阿波罗尼奥斯 …… 82
阿基米德 …… 82
纬度和经度 …… 482
纽科姆 …… 349

八画

环境 …… 224
环境污染 …… 501
垃圾和废渣的处置 …… 505
苯 …… 272
范艾伦 …… 350
范德瓦耳斯 …… 214
板块构造学 …… 384
矿物 …… 398
欧几里得 …… 81
欧玛尔·海亚姆 …… 346
欧拉 …… 84
拉马奴金 …… 88
拉瓦锡 …… 282
拉格朗日 …… 84
拉曼 …… 219
拉普拉斯 …… 84
国际日界线 …… 486
固体 …… 127
固体物理学 …… 95
岩石 …… 394
罗马数码 …… 71
帕斯卡 …… 83
图和图表 …… 72
钒 …… 265
物质 …… 96
物理化学 …… 232
物理学 …… 88
季节 …… 344
金斯 …… 217
命数系统和数 …… 66
周期表 …… 242
庞加莱 …… 87
放射性 …… 189
法拉第 …… 212
河流 …… 424
泡利 …… 220
沼泽 …… 414
空气 …… 134
居里一家 …… 216
降雨 …… 460

九画

玻尔 …… 218
城市 …… 493
草原 …… 410
荒漠 …… 411
荧光 …… 162
柯尔莫哥洛夫 …… 88
相对论 …… 201
星系 …… 328
星座 …… 331
星期 …… 346
虹 …… 463
虹吸管 …… 133
哈恩 …… 284
哈密顿 …… 213
哈雷 …… 348
峡谷 …… 407
钙 …… 247
钛 …… 264
钠 …… 245
钨 …… 266
氟 …… 244
氟碳化合物 …… 252
氢 …… 244
科瓦列夫斯卡娅 …… 86
科学 …… 1
科学领域 …… 12
信息论 …… 14
泉 …… 423
食 …… 317
脉冲星 …… 327
度量 …… 17
度量衡 …… 22
施泰纳 …… 85
恒星 …… 322
类星体 …… 327
炼金术 …… 282
洪堡 …… 508
洞穴 …… 408
测量 …… 474
费马 …… 83
费米 …… 220
统一场论 …… 225

十画

班纳克 …… 84
盐酸 …… 258
莱伊尔 …… 509
莫里 …… 509
真空 …… 107
核能 …… 116
哥白尼 …… 346
哥德尔 …… 88
夏令时 …… 346
夏特莱 …… 83
砷 …… 256
原子核物理学 …… 93
原子粒子 …… 101
热 …… 138
热力学 …… 138
钴 …… 267
铝 …… 266
钽 …… 265
钾 …… 246
铀 …… 262
铁 …… 266
铂 …… 267
铅 …… 253
铌 …… 265
氦 …… 244
氧 …… 256
氨基酸 …… 281

特勒 …… 222
乘法 …… 36
透镜 …… 160
X射线 …… 196
爱因斯坦 …… 218
胶体 …… 134
高原 …… 405
高斯 …… 85
离子 …… 240
海市蜃楼 …… 444
海底观察员 …… 444
海洋 …… 438
海洋学 …… 429
海洋波和潮汐 …… 442
海森伯 …… 220
海滩和海岸 …… 441
流星和陨石 …… 319
朗道 …… 222
能量 …… 110

十一画

彗星 …… 321
萨哈罗夫 …… 223
萨根 …… 350
梅耶夫人 …… 221
硅 …… 252
硒 …… 258
雪 …… 462
控制论 …… 16
铝 …… 248
铜 …… 259
铬 …… 265
银 …… 261
笛卡儿 …… 82
第四维 …… 203
康托尔 …… 86
康普顿 …… 219
盖耳-曼 …… 224
减法 …… 36
液体 …… 133
液态空气 …… 134
液晶 …… 133
渗透作用 …… 137
维纳 …… 88
绿洲 …… 413

十二画

斑脱岩 …… 398
超声 …… 224
超新星 …… 327
斯旺 …… 214
蒂拉克 …… 87
朝永振一郎 …… 221
惠更斯 …… 83
硝酸 …… 255
硫 …… 256
硫酸 …… 257
紫外辐射 …… 195
量子力学 …… 209
晶体 …… 129
黑洞 …… 328
锌 …… 261
氮 …… 253
氯 …… 258
氯仿 …… 274
等离子体和等离子体物理学 …… 95
傅里叶 …… 84
奥本海默 …… 221
飓风 …… 471
惰性气体 …… 244
普里斯特利 …… 212
普朗克 …… 216
湖泊 …… 428
温室效应 …… 459
富兰克林 …… 223

十三画

概率 …… 65
碘 …… 258
雷恩 …… 348
雾 …… 463
摆 …… 209
辐射 …… 182
锡 …… 252
锰 …… 266
催化剂 …… 281
微波激射器 …… 201
微积分学 …… 62
鲍林 …… 285
鲍威尔 …… 509
新开拓地 …… 375
数学 …… 27
塑料 …… 276
溶剂 …… 239
溶液 …… 239

十四画

赫兹 …… 216
赫顿 …… 508
赫歇耳 …… 349
聚合物 …… 275
酸雨 …… 504
酸和碱 …… 240
碱土金属 …… 246
碱金属 …… 245
碳 …… 249
碳水化合物 …… 275
磁体和磁学 …… 178
镁 …… 247
算术 …… 32
算盘 …… 79
腐蚀 …… 281
熔岩和岩浆 …… 397
缪尔 …… 509

十五画

醇 …… 272
墨卡托 …… 508
镉 …… 262
镍 …… 267
黎曼 …… 86
摩擦 …… 138
颜色 …… 152
潮汐 …… 444

十六画

薛定谔 …… 219
霍奇金 …… 285
霍普金斯 …… 284
噪声 …… 505
穆斯堡尔 …… 224
激光器和微波激射器 …… 199

十七画

磷 …… 255
霜 …… 463
魏格纳 …… 510

十八画

镭 …… 247
瀑布 …… 426
瀑布线 …… 427

英汉词目对照表

ABACUS 算盘 …… 79
ABEL, Niels Henrik 阿贝尔 …… 85
ACID RAIN 酸雨 …… 504
ACIDS AND BASES 酸和碱 …… 240
ACOUSTICS 声学 …… 162
AEROSOL 气溶胶 …… 473
AIR 空气 …… 134
ALCHEMY 炼金术 …… 282
ALCOHOL 醇 …… 272
ALFVÉN, Hannes 阿尔文 …… 349
ALGEBRA 代数 …… 38
ALKALI METALS 碱金属 …… 245
ALKALINE EARTH METALS 碱土金属 …… 246
ALUMINUM 铝 …… 248
ALVAREZ, Luis W. 阿耳瓦雷茨 …… 223
AMINO ACIDS 氨基酸 …… 281
AMPÈRE, André-Marie 安培 …… 212
ANALYTICAL CHEMISTRY 分析化学 …… 230
ANTIMATTER 反物质 …… 107
APOLLONIUS OF PERGA 阿波罗尼奥斯 …… 82
APRIL 四月 …… 346
AQUANAUT 海底观察员 …… 444
ARCHIMEDES 阿基米德 …… 82
ARITHMETIC 算术 …… 32
ARSENIC 砷 …… 256
ARTESIAN WELL 自流井 …… 424
ASTEROID 小行星 …… 320
ASTROLOGY 占星术 …… 335
ASTRONOMY 天文学 …… 286
ASTRONOMY, AMATEUR 天文爱好者活动 …… 339
ATMOSPHERE 大气 …… 446
ATOMIC PARTICLES 原子粒子 …… 101
AUGUST 八月 …… 346
AURORA 极光 …… 319
BABBAGE, Charles 巴贝奇 …… 85
BANNEKER, Benjamin 班纳克 …… 84
BARDEEN, John 巴丁 …… 222
BASALT 玄武岩 …… 397
BEACH AND COAST 海滩和海岸 …… 441
BENTONITE 斑脱岩 …… 398
BENZENE 苯 …… 272
BLACK HOLE 黑洞 …… 328
BOHR, Niels 玻尔 …… 218
BOOLE, George 布尔 …… 86
BUNSEN, Robert Wilhelm 本生 …… 282
CADMIUM 镉 …… 262
CALCIUM 钙 …… 247
CALCULATOR 计算器 …… 80
CALCULUS 微积分学 …… 62
CALENDAR 历法 …… 343
CANNON, Annie Jump 坎农 …… 349
CANTOR, Georg 康托尔 …… 86
CANYON 峡谷 …… 407
CARBOHYDRATES 碳水化合物 …… 275
CARBON 碳 …… 249
CARBON DIOXIDE 二氧化碳 …… 251
CARBON MONOXIDE 一氧化碳 …… 251
CASSINI, Gian Domenico 卡西尼 …… 348
CATALYST 催化剂 …… 281
CAVE 洞穴 …… 408
CHÂTELET, Gabrielle-Émilie 夏特莱 …… 83
CHEMICAL ANALYSIS 化学分析 …… 230
CHEMICAL ELEMENTS 化学元素 …… 240
CHEMISTRY 化学 …… 225
CHLORINE 氯 …… 258
CHLOROFORM 氯仿 …… 274
CHROMIUM 铬 …… 265
CITY 城市 …… 493
CLIMATE 气候 …… 448
CLOUD 云 …… 459
COBALT 钴 …… 267
COLLOID 胶体 …… 134
COLOR 颜色 …… 152
COMET 彗星 …… 321
COMPTON, Arthur Holly 康普顿 …… 219
CONSTELLATION 星座 …… 331
CONTINENT 大陆 …… 402
COPERNICUS, Nicolaus 哥白尼 …… 346
COPPER 铜 …… 259
CORROSION 腐蚀 …… 281
COSMIC RAYS 宇宙线 …… 328
COSMOLOGY 宇宙学 …… 328
CRYOGENICS 低温学 …… 143
CRYSTALS 晶体 …… 129
CURIE FAMILY 居里一家 …… 216
CYBERNETICS 控制论 …… 16
DAYLIGHT SAVING TIME (DST) 夏令时 …… 346
DECEMBER 十二月 …… 346
DELTA 三角洲 …… 425
DESCARTES, René 笛卡儿 …… 82
DESERT 荒漠 …… 411
DIRAC, P. A. M. 狄拉克 …… 220
DIRECTIONS 方位 …… 488
DROUGHT 干旱 …… 474
EARTH 地球 …… 351
EARTH SCIENCES 地球科学 …… 350
EARTHQUAKE 地震 …… 389
ECHO 回声 …… 168
ECLIPSE 食 …… 317
EINSTEIN, Albert 爱因斯坦 …… 218
ELECTRICITY 电 …… 168
ELECTROCHEMISTRY 电化学 …… 235
ELEMENTS 元素 …… 242
ENERGY 能量 …… 110
ENVIRONMENT 环境 …… 224
EQUATOR 赤道 …… 381
EUCLID 欧几里得 …… 81
EULER, Leonhard 欧拉 …… 84
EXTRATERRESTRIAL LIFE 地外生命 …… 334
FAHRENHEIT, Daniel Gabriel 华伦海特 …… 212
FALL LINE 瀑布线 …… 427
FARADAY, Michael 法拉第 …… 212
FEBRUARY 二月 …… 346

FERMAT, Pierre de 费马 …… 83
FERMI, Enrico 费米 ………… 220
FIRE 火 ………………………… 141
FLUORESCENCE 荧光 ……… 162
FLUORINE 氟 ………………… 244
FLUOROCARBON 氟碳化合物 ………………………… 252
FOG 雾 ………………………… 463
FORMALDEHYDE 甲醛 ……… 274
FOURIER, Joseph 傅里叶 …… 84
FOURTH DIMENSION 第四维 ………………………… 203
FRACTIONS, COMMON AND DECIMAL 分数(普通分数和十进分数) ……………… 36
FRANKLIN, Rosalind 富兰克林 ………………………… 223
FREGE, Gottlob 弗雷格 ……… 86
FRICTION 摩擦 ……………… 138
FRONTIER 新开拓地 ………… 375
FROST 霜 ……………………… 463
GÖDEL, Kurt 哥德尔 ……… 88
GALAXY 星系 ……………… 328
GALILEO 伽利略 …………… 347
GARBAGE AND REFUSE DISPOSAL 垃圾和废渣的处置 … 505
GAUSS, Garl Friedrich 高斯 …… 85
GELL-MANN, Murray 盖耳-曼 ………………………… 224
GEOLOGY 地质学 ………… 382
GEOMETRY 几何学 ………… 52
GEYSER AND FUMAROLE 间歇泉和喷气孔 ………… 423
GLACIER 冰川 ……………… 387
GLOBE 地球仪 ……………… 482
GRANITE 花岗岩 …………… 398
GRAPH AND CHART 图和图表 ………………………… 72
GRASSLAND 草原 ………… 410
GRAVITATION 万有引力 …… 108
GREAT RIFT VALLEY 大裂谷 ………………………… 402
GREENHOUSE EFFECT 温室效应 ……………………… 459
HAHN, Otto 哈恩 …………… 284
HALLEY, Edmond 哈雷 …… 348
HALOGENS 卤素 …………… 258
HAMILTON, William Rowan 哈密顿 ……………………… 213
HEAT 热 ……………………… 138
HEISENBERG, Werner 海森伯 ………………………… 220
HELIUM 氦 ………………… 244
HELMHOLTZ, Hermann von 亥姆霍兹 ……………… 213
HEMISPHERE 半球 ………… 381
HENRY, Joseph 亨利 ……… 212
HERSCHEL, William 赫歇耳 ………………………… 349
HERTZ, Heinrich 赫兹 ……… 216
HILBERT, David 希尔伯特 …… 87
HODGKIN, Dorothy Crowfoot 霍奇金 ……………………… 285
HOLOGRAPHY 全息术 ……… 161
HOPKINS, Frederick Gowland 霍普金斯 ………………… 284
HUMBOLDT, Alexander von 洪堡 ……………………… 508
HUTTON, James 赫顿 ……… 508
HUYGENS, Christiaan 惠更斯 ………………………… 83
HYDROCHLORIC ACID 盐酸 ………………………… 258
HYDROGEN 氢 ……………… 244
ICE 冰 ………………………… 134
ICE AGE 冰期 ……………… 384
ICEBERG 冰山 ……………… 388
INFORMATION THEORY 信息论 ………………………… 14
INFRARED RADIATION 红外辐射 ………………………… 195
INORGANIC CHEMISTRY 无机化学 ………………………… 237
INTERNATIONAL DATE LINE 国际日界线 ……………… 486
IODINE 碘 …………………… 258
ION 离子 …………………… 240
IRON 铁 ……………………… 266
ISLAND 岛屿 ……………… 429
ISOTOPE 同位素 …………… 224
JANUARY 一月 …………… 345
JEANS, James 金斯 ………… 217
JULY 七月 ………………… 346
JUNE 六月 ………………… 346
KELVIN, Lord 开尔文勋爵 … 213
KEPLER, Johannes 开普勒 … 347
KOLMOGOROV, A. N. 柯尔莫哥洛夫 ……………………… 88
KOVALEVSKAYA, Sofya 科瓦列夫斯卡娅 …………… 86
LAGRANGE, Joseph Louis 拉格朗日 ……………………… 84
LAKE 湖泊 ………………… 428
LANDAU, Lev Davidovich 朗道 ………………………… 222
LAPLACE, Pierre Simon 拉普拉斯 ……………………… 84
LASER AND MASER 激光器和微波激射器 ………………… 199
LATITUDE AND LONGITUDE 纬度和经度 ……………… 482
LAVA AND MAGMA 熔岩和岩浆 ……………………… 397
LAVOISIER, Antoine Laurent 拉瓦锡 ……………………… 282
LEAD 铅 …………………… 253
LENS 透镜 ………………… 160
LIEBIG, Justus von 李比希 …… 282
LIGHT 光 …………………… 145
LIGHTNING 闪电 ………… 464
LIMESTONE 石灰岩 ……… 398
LIQUID 液体 ……………… 133
LIQUID AIR 液态空气 ……… 134
LIQUID CRYSTALS 液晶 …… 133
LOGARITHM 对数 ………… 38
LYELL, Charles 莱伊尔 …… 509
MÖSSBAUER Rudolt Ludwig 穆斯堡尔 ……………………… 224
MACH, Ernst 马赫 ………… 214
MAGNESIUM 镁 …………… 247
MAGNET AND MAGNETISM 磁体和磁学 ……………… 178
MANGANESE 锰 …………… 266
MAPS AND GLOBES 地图和地球仪 ……………………… 475
MARCH 三月 ……………… 346
MASER 微波激射器 ………… 201
MATHEMATICS 数学 ……… 27
MATTER 物质 ……………… 96
MAURY, Matthew Fontaine 莫里 ………………………… 509
MAXWELL, James Clerk 麦克斯韦 ………………………… 214
MAY 五月 ………………… 346
MAYER, Maria Goeppert 梅耶夫人 ……………………… 221
MEASUREMENT 度量 ……… 17
MECHANICS 力学 ………… 203
MEITNER, Lise 迈特纳 ……… 217
MENDELEEV, Dmitri 门捷列夫 ………………………… 284
MERCATOR, Gerardus 墨卡托 ………………………… 508
MERCURY 汞 ……………… 262
METEOR AND METEORITE 流星和陨石 ……………… 319
METEOROLOGY 气象学 …… 446
METHANOL 甲醇 ………… 274
METRIC SYSTEM 米制 ……… 22

MICA 云母 …… 402
MICHELSON, Albert A. 迈克耳孙 …… 215
MINERALS 矿物 …… 398
MIRAGE 海市蜃楼 …… 444
MITCHELL, Maria 米切尔 …… 349
MOLECULE 分子 …… 107
MOLYBDENUM 钼 …… 266
MONTH 月 …… 345
MOON 月球 …… 313
MOUNTAIN 山 …… 406
MUIR, John 缪尔 …… 509
MULTIPLICATION 乘法 …… 36
NEWCOMB, Simon 纽科姆 …… 349
NEWTON, Isaac 牛顿 …… 211
NICKEL 镍 …… 267
NIOBIUM 铌 …… 265
NITRIC ACID 硝酸 …… 255
NITROGEN 氮 …… 253
NOBLE GASES 惰性气体 …… 244
NOISE 噪声 …… 505
NOVEMBER 十一月 …… 346
NUCLEAR ENERGY 核能 …… 116
NUCLEAR PHYSICS 原子核物理学 …… 93
NUMERATION SYSTEMS AND NUMBERS 命数系统和数 …… 66
OASIS 绿洲 …… 413
OBSERVATORY 天文台 …… 336
OCEAN 海洋 …… 438
OCEAN WAVES AND TIDES 海洋波和潮汐 …… 442
OCEANOGRAPHY 海洋学 …… 429
OCTOBER 十月 …… 346
OMAR KHAYYÁM 欧玛尔·海亚姆 …… 346
OPPENHEIMER, J. Robert 奥本海默 …… 221
OPTICS 光学 …… 144
ORGANIC CHEMISTRY 有机化学 …… 268
OSMOSIS 渗透作用 …… 137
OXYGEN 氧 …… 256
PASCAL, Blaise 帕斯卡 …… 83
PASTEUR, Louis 巴斯德 …… 283
PAULI, Wolfgang 泡利 …… 220
PAULING, Linus 鲍林 …… 285
PENDULUM 摆 …… 209
PENINSULA 半岛 …… 429
PERIODIC TABLE 周期表 …… 242
PHOSPHORUS 磷 …… 255
PHYSICAL CHEMISTRY 物理化学 …… 232
PHYSICS 物理学 …… 88
PLANCK, Max 普朗克 …… 216
PLANETARIUM 天文馆 …… 338
PLANETS 行星 …… 307
PLASMA AND PLASMA PHYSICS 等离子体和等离子体物理学 …… 95
PLASTICS 塑料 …… 276
PLATE TECTONICS 板块构造学 …… 384
PLATEAU 高原 …… 405
PLATINUM 铂 …… 267
POINCARÉ, Henri 庞加莱 …… 87
POLLUTION, ENVIRONMENTAL 环境污染 …… 501
POLYCHLORINATED BIPHENYL (PCBs) 多氯化联苯 …… 274
POLYMER 聚合物 …… 275
POTASSIUM 钾 …… 246
POWELL, John Wesley 鲍威尔 …… 509
PRIESTLEY, Joseph 普里斯特利 …… 212
PROBABILITY 概率 …… 65
PSEUDOSCIENCES 伪科学 …… 17
PTOLEMY, Claudius 托勒密 …… 346
PULSAR 脉冲星 …… 327
QUANTUM MECHANICS 量子力学 …… 209
QUARK 夸克 …… 106
QUASAR 类星体 …… 327
RADIATION 辐射 …… 182
RADIOACTIVITY 放射性 …… 189
RADIUM 镭 …… 247
RAINBOW 虹 …… 463
RAINFALL 降雨 …… 460
RAMAN, Chandrasekhara Venkata 拉曼 …… 219
RAMANUJAN, Srinivasa 拉马奴金 …… 88
RELATIVITY 相对论 …… 201
RIEMANN, Bernhard 黎曼 …… 86
RIVER 河流 …… 424
ROCK 岩石 …… 394
ROENTGEN, Wilhelm 伦琴 …… 214
ROMAN NUMERALS 罗马数码 …… 71
RUTHERFORD, Ernest 卢瑟福 …… 217
SAGAN, Carl 萨根 …… 350
SAKHAROV, Andrei 萨哈罗夫 …… 223
SAND 沙 …… 401
SATURN 土星 …… 320
SCHRÖDINGER, Erwin 薛定谔 …… 219
SCIENCE 科学 …… 1
SEABORG, Glenn T. 西博格 …… 286
SEASONS 季节 …… 344
SELENIUM 硒 …… 258
SEMICONDUCTOR 半导体 …… 129
SEPTEMBER 九月 …… 346
SILICON 硅 …… 252
SILVER 银 …… 261
SIPHON 虹吸管 …… 133
SNOW 雪 …… 462
SODIUM 钠 …… 245
SOLAR ENERGY 太阳能 …… 116
SOLAR SYSTEM 太阳系 …… 299
SOLID STATE PHYSICS 固体物理学 …… 95
SOLIDS 固体 …… 127
SOLUTION 溶液 …… 239
SOLVENT 溶剂 …… 239
SOUND 声音 …… 164
SPECTRUM AND SPECTROSCOPE 光谱和分光镜 …… 157
SPRING 泉 …… 423
STAR 恒星 …… 322
STEINER, Jakob 施泰纳 …… 85
STORM 风暴 …… 471
SUBTRACTION 减法 …… 36
SULFUR 硫 …… 256
SULFUR DIOXIDE 二氧化硫 …… 257
SULFURIC ACID 硫酸 …… 257
SUN 太阳 …… 304
SUPERNOVA 超新星 …… 327
SURVEYING 测量 …… 474
SWAMP, MARSH, AND BOG 沼泽 …… 414
SWAN, Joseph 斯旺 …… 214
TANTALUM 钽 …… 265
TELLER, Edward 特勒 …… 222
THE SCIENCES 科学领域 …… 12
THERMODYNAMICS 热力学 …… 138
THOMSON, Joseph 汤姆森 …… 215
TIDE 潮汐 …… 444
TILAK, Bal Gangadhar 蒂拉克 …… 87
TIME 时间 …… 340
TIN 锡 …… 252
TITANIUM 钛 …… 264

TOMONAGA, Shin-Ichiro 朝永振一郎 …… 221
TORNADO 飓风 …… 471
TRIGONOMETRY 三角学 …… 59
TUNGSTEN (WOLFRAM) 钨 …… 266
ULTRASOUND 超声 …… 224
ULTRAVIOLET RADIATION 紫外辐射 …… 195
UNIFIED FIELD THEORY 统一场论 …… 225
UNIVERSE 宇宙 …… 331
URANIUM 铀 …… 262
UREY, Harold Clayton 尤里 …… 285
VACUUM 真空 …… 107
VALLEY 谷 …… 408
VAN ALLEN, James A. 范艾伦 …… 350
VANADIUM 钒 …… 265
VOLCANO 火山 …… 391
WAALS, Johannes van der 范德瓦耳斯 …… 214
WASTE, TOXIC 有毒废物 …… 507
WATER 水 …… 415
WATERFALL 瀑布 …… 426
WEATHER 天气 …… 453
WEEK 星期 …… 346
WEGENER, Alfred 魏格纳 …… 510
WEIGHTS AND MEASURES 度量衡 …… 22
WHITEHEAD, Alfred North 怀特海 …… 87
WIENER, Norbert 维纳 …… 88
WIND 风 …… 465
WIND TUNNEL 风洞 …… 210
WREN, Christopher 雷恩 …… 348
WU, Chien-Shiung 吴健雄 …… 223
X RAY X射线 …… 196
YANG, Chen Ning 杨振宁 …… 223
YEAR 年 …… 344
YUKAWA, Hideki 汤川秀树 …… 221
ZINC 锌 …… 261

主编／〔美〕戴尔·古德

康普顿百科全书

自然科学卷

ISBN 7-100-03256-3

9 787100 032568 >

ISBN 7－100－03256－3／Z·35

定价：55.00 元